

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
ШУМАРСКИ ФАКУЛТЕТ

Ана М. Петровић

**ФАКТОРИ НАСТАНКА БУЈИЧНИХ  
ПОПЛАВА У СРБИЈИ**

докторска дисертација

Београд, 2014.

UNIVERSITY OF BELGRADE  
FACULTY OF FORESTRY

Ana M. Petrović

**FACTORS OF GENESIS OF THE  
TORRENTIAL FLOODS IN SERBIA**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2014

Ментор:  
професор

Др Станислав Костадинов, редовни

Универзитета у Београду, Шумарски  
факултет

Чланови комисије:  
професор

Др Ратко Ристић, редовни

Универзитета у Београду, Шумарски факултет

Др Миодраг Златић, редовни професор  
Универзитета у Београду, Шумарски факултет

Др Славољуб Драгићевић, ванредни професор  
Универзитета у Београду, Географски факултет

Др Весна Ђукић, доцент  
Универзитета у Београду, Шумарски факултет

***Овај рад је посвећен свим жртвама бујичних поплава у Србији.***

*Аутор*

## ПРЕДГОВОР

*Ова докторска дисертација настала је као резултат обимних усавршавања, консултација и истраживања на тему бујичних поплава које представљају најчешћи вид природних непогода и катастрофа у Србији. Стога, најпре желим да изразим велику захвалност на подршци и помоћи ментору, проф. др. Станимиру Костадинову, чији су савети и смернице значајно допринели квалитету рада.*

*Срдечно се захваљујем члановима комисије са Шумарског факултета Универзитета у Београду - проф. др Ратку Ристићу, проф. др Миодрагу Златићу и доц. др Весни Ђукић, на стручним консултацијама и корисним сугестијама. Посебно се захваљујем на несебичној подршци и корисним саветима члану комисије са Географског факултета Универзитета у Београду, проф. др Славољубу Драгићевићу.*

*Велико хвала колеги Борису Радићу на помоћи у раду са ГИС технологијама, проф. др Снежани Белановић на консултацијама из области педологије и проф. др Зорану Никићу на консултацијама из области геологије. Захваљујем се проф. др Југославу Николићу, Александру Пешићу и Самиру Ћатовићу из Републичког хидрометеоролошког завода на фонду хидролошких и метеоролошких података коришћених у раду. На фонду педолошких података захваљујем се Институту за земљиште у Београду.*

*На пуној подршци захваљујем се директору и колегама Географског института „Јован Цвијић“ Српске академија наука и уметности.*

*Највећу захвалност дугујем својој породици на љубави, вери и подршци.*

## КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИОНА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број (РБ)	
Идентификациони број (ИБР)	
Тип документа (ТД):	Монографска публикација
Тип записа (ТЗ):	Текстуални штампани документ
Врста рада (ВР):	Докторска дисертација
Аутор (АУ):	мср Ана М. Петровић, дипломирани географ
Ментор / Ко-ментор (МН):	Др Станимир Костадинов, редовни професор
Наслов рада (НР):	Фактори настанка бујичних поплава у Србији
Језик публикације (ЈЗ):	Српски / ћирилица
Језик извода (ЈИ):	Српски / енглески
Земља публикавања (ЗП):	Србија
Географско подручје (УГП):	Србија
Година (ГО):	2014.
Издавач (ИЗ):	Ауторски репринт
Место и адреса (МА):	11 030 Београд, Кнеза Вишеслава 1
Физички опис рада:	9 поглавља, 206 страница, 126 литературна навода, 59 табела, 102 слике, 1 прилог
Научна област (НО):	Еколошки инжењеринг у заштити земљишних и водних ресурса
Ужа научна област:	Ерозија и конзервација земљишта и вода
Научна дисциплина (НД)	Хидрологија бујичних токова
УДК:	556.161(497.11)(043.3)
Чува се (ЧУ):	Библиотека Шумарског факултета, Кнеза Вишеслава 1, 11030 Београд, Србија
Важна напомена (ВН):	Нема

## РЕЗИМЕ

Бујичне поплаве припадају групи природних хидролошких непогода које се карактеришу изненадном појавом максималних протицаја вода и проноса наноса на бујичним токовима. Бујични поплавени талас представља концентрисани ток воде огромне разорне снаге чија је појава условљена интеракцијом интензивних падавина и специфичних карактеристика слива. Њихова појава је нагла, трајање кратко, а дејство изузетно деструктивно, па управљање ризицима од бујичних поплава представља прави изазов.

Просторно - временска представа овог феномена дата је за територију Србије, јужно од Саве и Дунава, узимајући у обзир бујичне токове на Вршачким брдима и Фрушкој гори у Војводини. Израђен је први инвентар бујичних поплава у Србији у коме је, за период 1915.-2013. године, регистровано 848 догађаја бујичних поплава са преко 133 људске жртве и огромним материјалним штетама. Дефинисана је учесталост појаве бујичних поплава у току године и у току истраживаног периода, дат је предлог извештаја о догађајима бујичних поплава и дати су критеријуми за категоризацију догађаја бујичних поплава према материјалним штетама, и предложен даљи развој инвентара. На основу доступних података о екстремних догађајима бујичних поплава изведена је статистичка анализа зависности специфичног максималног протицаја од више фактора у сливу и нађене су значајне повезаности испитиваних варијабли.

Специфичне и варијабилне карактеристике климе и рељефа, геолошке основе, педолошког и вегетационог покривача и начина коришћења земљишта представљају јединствену комбинацију фактора и услова појаве бујичних поплава у сваком сливу. На тај начин, хидрограми поплавених таласа одражавају карактеристике слива и кишних падавина. У овом раду су детаљно анализирани фактори појаве бујичних поплава и разрађени физички базирани, просторно дистрибутивни хидролошки модели протицаја, употребом програмског пакета Shetran, за репрезентативне сливове – слив Топчидерске реке до профила Раковица и слив Топлице до профила Магово. Први експериментални слив налази се у брдској, а други у планинској зони. Репрезентативни сливови ових подручја

одликују се различитим обликом и величином слива, густином хидрографског система и геометријом слива, као и различитим климатско-метеоролошким, геолошким, педолошким и условима начина коришћења земљишта. У хидролошким прорачунима, слив је посматран као хидролошки систем са свим својим физичко-географским специфичностима и јединственом комбинацијом фактора појаве поплавних таласа, а узете су у обзир све компоненте хидролошког циклуса - интерцепција и евапотранспирација, површински отицај и отицај кроз хидрографску мрежу, отицај у засићеној средини и отицај у незасићеној средини.

**Кључне речи:** инвентар бујичних поплава, учесталост појаве, фактори појаве, отицај у сливу, максимални протицај, моделирање отицаја.



## KEY WORD DOCUMENTATION

Accession number (ANO):	
Identification number (INO):	
Document type (DT):	Monograph documentation
Type of record (TR):	Textual printed document
Contents code (CC):	Doctoral dissertation
Author (AU):	M. Sc. Ana M. Petrović
Menthor (MN):	Ph. D. Stanimir Kostadinov, full professor
Title (TI):	Factors of genesis of the torrential floods in Serbia
Language of text (LT):	Serbian/ Cyrillic alphabet
Language of abstract (LA):	Serbian / English
Country of publication (3П):	Serbia
Locality of publication (LP):	Belgrade
Publication year (PY):	2014
Publisher (PU):	The author's reprint
Publication place (PP):	11 030 Belgrade, Kneza Višeslava 1
Physical description (PD):	9 chapters, 206 pages, 126 references, 59 tables, 102 figures, 1 appendix
Scientific field (SF):	Ecological engineering of soil and water resources protection
Scientific discipline (SD):	Hydrology of torrents
UC:	556.161(497.11)(043.3)
Holding data (HD):	Library of Faculty of Forestry, Kneza Višeslava 1, 11030 Belgrade
Note (N):	-

## SUMMARY

Torrential floods (flash floods) belong to the natural hydrological hazards which are characterized by sudden occurrence of maximal discharge and sediment transport in torrents. Torrential flood wave is a concentrated water flow of severe ruinous power which is a result of interaction of intensive rainfalls and specific characteristics of watershed. Their appearance is sudden, duration is short and consequences are destructive, so that torrential flood risk management performs a real challenge.

Spatial and temporal review of this phenomenon is given for the territory of Serbia, south of the Sava River and the Danube River, considering torrents on Vrsacka hills and Fruska hills in Vojvodina. In this work, the first inventory of torrential flood in Serbia for the period 1915-2013, numbers 848 torrential flood events with over 133 casualties and severe material damages. Torrential flood frequency within a year and a research period is defined, proposal of report of torrential flood event and criteria for categorization of torrential flood events according to material damages are given, and further development and upgrading of inventory is proposed. On the base of available data on extreme torrential flood events from inventory, statistic analysis of relationship between specific maximal discharge and several factors of their occurrence in the watersheds shows significant dependency.

Specific and variable characteristic of microclimate and relief, geological terrain, pedological and vegetation cover and land use, perform a unique combination of factors and conditions of torrential flood occurrence in each watershed. Therefore, hydrographs of flood waves represents characteristics of watershed and rainfalls. In this work, factors of torrential flood occurrence are analyzed in detail and physically based spatially distributed hydrological models of flow, by using program Shetran, are developed. For this purpose, two representative torrential watersheds are chosen, watershed of Topčiderska river (profile Rakovica) which is periurban and situated in hilly region, and watershed of Toplica (profile Magovo) which is rural and situated in mountainous region. These watersheds are characterized by the distinctive watershed shape and area, hydrographic system and geometry, as well as climate-meteorological, geological,

pedological and land use properties. In hydrological modelling, watershed is taken as a hydrological system with its physical-geographic properties and unique combination of factors of torrential flood occurrence, and hydrological components – interception and evapotranspiration, overland and channel flow and flow in saturated and flow in unsaturated zone, are calculated.

**Key words:** torrential flood inventory, frequency of occurrence, factors of occurrence, flow in watershed, maximal discharge, hydrological flow modelling.

*„Кад је јутро освануло,  
Подиге се облаче као црни гавранови,  
Беснели су сви зли дуси  
Светлост се претворила у таму.  
Јужни ветар је тутњао,  
Воде су бучећи хујале,  
И већ достигле планине,  
Срушиле се на све људе.“*

из Епа о Гилгамешу, 11 плоча

## САДРЖАЈ

<b>1. УВОД.....</b>	<b>1</b>
1.1. Предмет, циљ и значај истраживања .....	3
1.2. Основне хипотезе.....	6
<b>2. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА .....</b>	<b>8</b>
2.1. Природни процеси на бујичним сливовима.....	8
2.2. Природни услови и фактори појаве бујичних поплава .....	11
2.3. Основне методе у анализи бујичних поплава.....	18
<b>3. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА .....</b>	<b>23</b>
3.1. Општи приступ .....	23
3.2. Инвентаризација догађаја бујичних поплава.....	25
3.3. Идентификација програмског система за моделирање бујичних поплава .....	32
3.4. Интеграција ГИС технологије и хидролошког модела .....	39
3.5. Концепт хидролошког модела отицаја у сливу - структура и теоријске основе.....	41
3.5.1. Контролни модул.....	42
3.5.2. Модул интерцепције и евапотранспирације .....	46
3.5.3. Модул површинског отицаја и отицаја кроз хидрографску мрежу .....	48
3.5.4. Модул отицаја у засићеној и незасићеној средини .....	50
3.6. Статистичке анализе .....	52
<b>4. ИНВЕНТАР БУЈИЧНИХ ПОПЛАВА У СРБИЈИ .....</b>	<b>54</b>
4.1. Бујичне поплаве као природне непогоде .....	54
4.2. Просторна дистрибуција догађаја бујичних поплава .....	60
4.3. Учесталост догађаја бујичних поплава .....	64
4.4. Последице догађаја бујичних поплава.....	71
4.6. Неки описи догађаја бујичних поплава.....	74
<b>5. ФАКТОРИ ПОЈАВЕ ЕКСТРЕМНИХ БУЈИЧНИХ ПОПЛАВА.....</b>	<b>76</b>
5.1. Екстремне епизоде киша .....	76
5.2. Индиректни фактори .....	83
<b>6. РЕЗУЛТАТИ АНАЛИЗЕ ФАКТОРА ПОЈАВЕ ПОПЛАВА У     ЕКСПЕРИМЕНАЛНИМ СЛИВОВИМА .....</b>	<b>96</b>
6.1. Слив Топчидерске реке - профил Раковица.....	97

6.1.1. Географски положај.....	97
6.1.2. Хидрографске и хидролошке карактеристике слива.....	98
6.1.3. Климатске карактеристике слива.....	103
6.1.4. Геолошке карактеристике слива .....	105
6.1.5. Педолошке карактеристике.....	107
6.1.6. Начин коришћења и вегетационе карактеристике .....	110
6.1.7. Ерозија у сливу .....	112
6.1.8. Припрема релевантних података за развој хидролошког модела отицаја.....	116
6.1.9. Анализа осетљивости модела отицаја .....	129
6.1.10. Калибрација модела отицаја .....	134
6.1.11. Валидација модела отицаја .....	139
6.2. Слив Топлице - профил Магово .....	144
6.2.1. Географски положај.....	145
6.2.2. Хидрографске и хидролошке карактеристике.....	145
6.2.3. Климатске карактеристике .....	150
6.2.4. Геолошке карактеристике слива .....	152
6.2.5. Педолошке карактеристике.....	155
6.2.6. Начин коришћења и вегетационе карактеристике .....	158
6.2.7. Ерозија у сливу .....	161
6.2.8. Припрема релевантних података за развој хидролошког модела отицаја.....	163
6.2.9. Анализа осетљивости модела отицаја .....	172
6.2.10. Калибрација модела отицаја .....	176
6.2.11. Валидација модела отицаја за слив Топлице – профил Магово.....	181
<b>7. ДИСКУСИЈА.....</b>	<b>184</b>
<b>8. ЗАКЉУЧЦИ.....</b>	<b>192</b>
<b>9. ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>196</b>
<b>ПРИЛОГ А: Основни подаци о пописаним бујичним поплавама у Инвентару</b>	

*„Људи воле да живе близу река. Оне обезбеђују храну и воду, посао и саобраћај,  
пољопривредно земљиште и наводњавање, енергију и леп предео.  
Међутим, живети поред река такође подразумева ризик од поплава.“*  
Abbott, 2008

## **1. УВОД**

Поплаве су природне хидролошке непогоде које покривају водом подручја која иначе нису покривена водом, при чему последице варирају и могу бити катастрофалне по економски развој друштва, животну средину, људске животе и здравље, као и културно наслеђе (European Parliament & Council, 2007a). Услед деструктивности овог природног феномена, чине се значајни напори у предвиђању, прогнози и заштити од поплава, чији ефекти нарочито долазе до изражаја ако постоји подршка и разумевање овог проблема од стране свих угрожених.

Међутим, постоје и неки корисни ефекти поплава, који су с обзиром на значајно већи обим негативних ефеката, ретко препознати (на пример, прочишћавање речних корита, побољшана влажност земљишта или таложeње финих плодних наноса на пољопривредним земљиштима) (Wang et al., 1996).

Појава поплава може бити изазвана атмосферским (обилне падавине, топљење снежног покривача, ледене бране), геоморфолошким (клизишта и одрони), технолошким (оштећења на бранама) као и узроцима тектонског порекла (цунами) (Гавриловић, 1981). У Директиви о процени и управљању ризицима од поплава Европске Уније (2007/60/ЕК, члан 2.), дата је подела поплава које се дешавају у границама Европске Уније, и то су поплаве великих река, поплаве планинских бујица, поплаве повремених медитеранских токова и поплаве у приобалним зонама које долазе са мора.

За наше услове релевантна су прва два типа поплава, тј. у нашој земљи важи следећа генетска класификација поплава: поплаве изазване кишом и отапањем снега, ледене поплаве, поплаве услед коинциденције високих вода, поплаве изазване клижењем земљишта и бујичне поплаве (Гавриловић, 1981).

У ранијој домаћој стручној литератури бујичне поплаве су дефинисане као поплаве у којима се јавља и до 30 kg ерозионог наноса у 1 m<sup>3</sup> воде која протиче, и чији поплазни талас траје мање од 7 часова (Гавриловић, 1972). Према ауторима Ристић & Малошевић (2011), бујичне поплаве се јављају након кишних падавина кратког трајања ( $T_k < 24h$ ) а јаког интензитета ( $i > 0.5 \text{ mm/min}$ ). Бујични токови се дефинишу као природни токови екстремних осцилација протицаја воде (са изразитим скоковима након јаких киша и наглог топљења снега) и проноса наноса. Између 80 и 90 % укупног годишњег проноса наноса оствари се током бујичних поплазних таласа (Petković et al., 1989; Ђукић, 2012). Дакле, бујичне поплаве везују се за водотоке чија је основна карактеристика специфичан хидролошки и псамолошки режим (Kostadinov et al., 2012).

Феномен бујичних поплава је карактеристичан за брдско-планинске сливове у Србији који су угрожени водном ерозијом различитих категорија разорности (Лазаревић, 2000). Процес ерозије земљишта присутан је на целој територији Србији, а годишња продукција наноса износи  $37.25 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , што је четири пута више у односу на нормалну геолошку ерозију (Kostadinov, 2008). Најизразитији бујични сливови у Србији су сливови притока Јужне, Западне и Велике Мораве, код којих је однос малих и великих вода у значајнијем дисбалансу (1:1000 и више), што указује и на интензивне процесе ерозије у сливовима (Kostadinov, 2008). На територији Србије регистровано је преко 12.000 бујичних токова.



## 1.1. Предмет, циљ и значај истраживања

Бујичне поплаве припадају групи природних хидролошких непогода које се карактеришу изненадном појавом максималних протицаја на бујичним токовима са великом концентрацијом чврсте фазе (Norbiato et al., 2008; Rocca et al., 2009; Kostadinov et al., 2012; Ristić et al., 2012). Поплаве бујичног карактера су локализовани хидролошки феномен који се везује за сливове стрмих нагиба (1-15% и више), релативно мале површине, од неколико хектара до неколико стотина квадратних километара, који одговарају на јаке плускове у року од неколико часова или краће (Camarasa et al., 2001; Borga et al., 2007; Borga et al., 2011).

Бујични поплавни талас представља концентрисани ток воде огромне разорне снаге чија је појава условљена интеракцијом интензивних падавина и специфичних карактеристика слива.

Предмет истраживања докторске дисертације су бујичне поплаве као хидролошки феномен и као природне непогоде у Србији. Јединствене комбинације природних услова и фактора у сливовима уз појаву интензивних киша одређују критични праг појаве бујичних поплава. Према томе, хидрограми поплавних таласа одражавају карактеристике слива и кишних падавина. Њихова појава је нагла, трајање кратко, а дејство изузетно деструктивно, па управљање ризицима од бујичних поплава представља прави изазов.

Основни циљеви истраживања у оквиру ове докторске дисертације су:

- употпунити просторно-временску представу природног феномена бујичних поплава у Србији кроз израду Инвентара бујичних поплава,
- разрадити физички базиране и просторно дистрибутивне моделе отицаја за репрезентативне сливове.

Из наведеног следи да су постављена два веома значајна циља и задатка па се и докторска дисертација, условно речено, састоји из два дела: Инвентара бујичних поплава у Србији, и анализе фактора појаве бујичних поплава и разраде

хидролошких модела за репрезентативне бујичне сливове, слив Топчидерске реке до профила Раковица и слив Топлице до профила Магово.

У имплементацији Директиве 2007/60/ЕС полази се од прелиминарне процене ризика која омогућава реализацију следећег корака, тј. картирање угрожености и ризика од поплава, на чему ће се коначно заснивати план управљања ризиком од поплава. Прве активности на имплементацији ове Директиве су прикупљање информација и података о поплавама које су се догодиле у прошлости, нарочито о оним догађајима са катастрофалним последицама. У складу са одређењем надлежних о имплементацији Директиве о управљању ризицима од поплава 2007/60/ЕК, прелиминарна процена ризика од поплава је израђена за поплаве великих алувијалних река, док је прелиминарна процена ризика од поплава бујичних токова планирана за 2017. годину. У том смислу, Инвентар бујичних поплава као резултат овог рада треба да представља допринос имплементацији Директиве у Србији. Потребно је изградити конструктивни модел извештаја за даље ажурирање Инвентара и поставити добру основу за његов даљи развој. Потом, потребно је омогућити следећи степен развоја у вишенаменску базу података за више типова корисника. Такође је неопходно предложити категоризацију догађаја бујичних поплава, према којој сваком догађају треба да буде додељена одређена категорија интензитета.

Инвентар бујичних поплава у Србији такође представља значајан допринос будућој националној бази података о природним непогодама и катастрофама. Потом, предвиђена је интеграција Инвентара бујичних поплава у Србији у европске базе података о природним хазардима (нпр. EMDAT - Emergency Event Database или NATHAN - Natural Hazards Assessment Network) (Petrović et al., 2013). Овај корак је од велике важности с обзиром да је до сада на европским картама ризика од непогода и посебно поплава Србија била изостављана као и у међународним пројектима из ове области (Dragičević et al., 2011). Резултати овог рада дају значајан основ за даља истраживања у области утврђивања учесталости појаве бујичних поплава.

Резултати рада имају значаја за следеће установе и организације у одређеним секторима: Републички хидрометеоролошки завод Србије (РХМЗС-е), Републичка дирекција за воде (Служба за одбрану од поплава), ЈВП „Србија Воде“, Министарство унутрашњих послова (Сектор за ванредне ситуације) као и локалне самоуправе и осигуравајуће компаније. Проучавање и научно објашњење појаве бујичних поплава и њихове учесталости је изузетно важно и са гледишта водопривреде, дела заштите и одбране од вода, као и локалне економије и одрживог развоја (Prohaska et al., 2009; Dragićević et al, 2013).

Хидролошки модели омогућавају сагледавање реакције природних услова и фактора у сливу у односу на падавине које доводе до појаве бујичне поплаве. Примена ваљаног модела генезе отицаја у речним сливовима бујичног карактера омогућава његов вишеструки значај. Уз помоћ модела могуће је симулирати одговор слива у односу на планиране промене у сливу, рецимо промене у начину коришћења земљишта. Значај модела се огледа и у смислу прогнозе и благовремене најаве бујичне поплаве у случају када се располаже подацима о прогнозираним падавинама. Хидролошки модели могу бити од користи и осигуравајућим компанијама за формирање премија осигурања за заинтересоване кориснике који поседују имовину која се налази у зонама угроженим од ове врсте природних непогода. На тај начин, хидролошко моделирање је такође један од елемената подршке имплементацији Директиве и управљању ризицима од поплава.

## 1.2. Основне хипотезе

У првом делу рада који се односи на Инвентар бујичних поплава у Србији, бујичне поплаве се третирају као хидролошке непогоде, а подаци о забележеним догађајима бујичних поплава односе се и на сферу угрожености и ризика од ове врсте природних непогода. Претпоставља се да је, на основу података о датуму појаве и геопросторних информација догађаја бујичних поплава, могућа временска (учесталост појаве бујичних поплава унутар године као и у посматраном временском периоду) и просторна карактеризација овог феномена у Србији. Такође се полази од претпоставке, на основу прегледа релевантне литературе, да је могућа највећа учесталост и интензитет појаве бујичних поплава у Србији током маја и јуна и да се број регистрованих бујичних поплава повећава у истраживаном периоду.

У другом делу рада, у истраживању процеса отицаја у сливу полази се од претпоставке да је овај процес условљен пре свега екстремним кишним епизодама које изазивају брзу реакцију на сливовима обично мање величине и великог нагиба падина. Под утицајем јаких пљускова у сливовима брдско-планинских предела долази до наглог формирања поплава таласа, односно појаве максималних протицаја воде. У овом раду, поплаве у бујичним сливовима третиране су искључиво као хидролошки феномен, тј. у смислу појаве максималних протицаја. Први експериментални слив налази се у брдској, а други у планинској зони. Репрезентативни сливови ових подручја одликују се различитим обликом и величином слива, густином хидрографског система и геометријом слива, као и различитим климатско-метеоролошким, геолошким и педолошким условима и карактеристикама начина коришћења земљишта. Полази се од претпоставке да је сплет фактора појаве бујичних поплава и процес генезе отицаја у сливу могуће представити разрадом хидролошког модела за репрезентативне сливове који се базира на примени математичких једначина за процесе у сливу и принципу хомогених физичко-географских својстава GRID-них ћелија. Простор слива је представљен GRID-ним ћелијама тако да је за потребе хидролошког модела на самом почетку формиран растерски модел података,

односно континуалних поља. Претпоставља се да ће се процес генезе отицаја у свакој гридној ћелији реално одразити на процес генезе отицаја у целом сливу, односно да ће допринети реалном резултату на излазном профилу.

Развој Инвентара бујичних поплава у Србији и хидролошки модели отицаја треба да допринесу бољем разумевању и квантитативном опису појаве бујичних поплава у простору и времену.

## **2. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА**

### **2.1. Природни процеси на бујичним сливовима**

Генеза бујичних поплавних таласа је резултат више природних процеса на бујичним сливовима који представљају компоненте хидролошког циклуса (Bewen, 2001; DeBarry, 2004). Тако, процес отицаја на једном бујичном сливу представља део глобалног хидролошког циклуса.

Када се анализира процес отицаја, морају се анализирати и процеси интерцепције, евапотранспирације и инфилтрације. Појава задржавања дела кишнице на вегетационом покривачу која не учествује у формирању отицаја назива се интерцепција (Ристић & Мацан, 2002). Интерцептивна кишница се највећим делом враћа у атмосферу испаравањем, а део апсорбује вегетација. Под појмом евапотранспирација подразумева се губитак воде путем испаравања са земљишта и водених површина као и вегетационог прекривача. Интензитет евапотранспирације је у вези са температуром ваздуха и воде, влажности ваздуха, инсолацијом, брзином ветра али и особинама земљишта и вегетације (Ђukić, 2012d). Прегледом литературе, може се уочити да се у неким хидролошким прорачунима отицаја, процеси евапорације и транспирације биљака обично третирају заједно.

Инфилтрација воде у земљиште је веома важан процес вертикалног кретања воде кроз земљиште, с обзиром да утиче на смањење површинског отицаја, а одвија се под дејством гравитационих и капиларних сила (Rawls et al., 1996). Међутим, процес инфилтрације битно зависи од степена сатурисаности земљишта. Када је земљиште засићено претходним падавинама, моћ инфилтрације је мала и обрнуто. На почетку кише инфилтрација је највећа, а током трајања кише интензитет инфилтрације опада.

Кретање воде у земљишту је процес који се одвија под утицајем енергетских потенцијала воде који могу бити позитивни и негативни (Ђorović, 2001). У

зависности од типа енергетског потенцијала, одвијају се процеси кретања воде у незасићеној зони под утицајем негативних (матриксних) потенцијала и процеси кретања воде у засићеној зони под утицајем позитивних (хидрауличких) потенцијала.

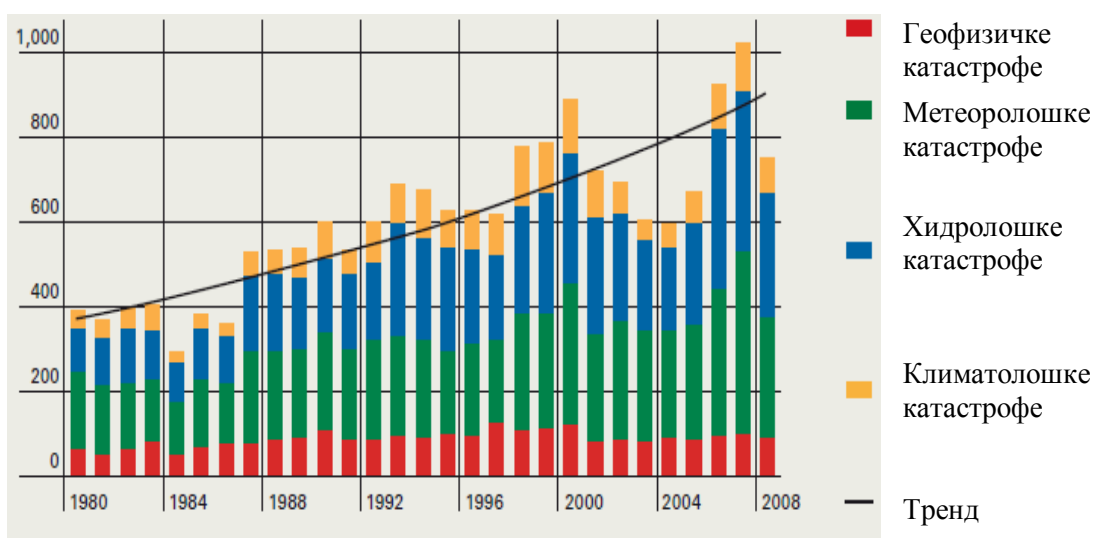
У теорији се слободни ниво подземне воде, односно граница сатурисаности сматра границом између засићене и незасићене зоне (обично се одређује бушењем опсервационог бунара при чему се задире у зону сатурисаности) (Ђорović, 2001). Међутим, код готово свих земљишта, непосредно изнад нивоа подземних вода постоји зона блиска сатурисаном стању у којој ипак влада негативни енергетски потенцијал и она се назива капиларни појас.

Када интензитет кише превазиђе инфилтрациони капацитет земљишта долази до формирања површинског отицаја. Ефективне или нето падавине су онај део укупних бруто падавина који чини отицај. Укупан отицај у бујичном сливу се састоји из три компоненте: површински отицај, подповршински отицај и подземни отицај. Површински отицај се односи на отицај по површини падина и хидрографском мрежом, подповршински на отицај који се креће површинским слојем земљишта и са кашњењем доспева у хидрографску мрежу, а подземни отицај на део кишних падавина који се инфилтрира у земљиште, понире и доспева до вододржљивих стенских маса а онда путем извора доспева на површину терена и у хидрографску мрежу (Chow, 1964; Prakash et al., 1996; DeBarry, 2004; Bewen, 2008; Ристић & Малошевић, 2011).

Екстремне кишне епизоде су главни покретач процеса генезе површинског отицаја и ерозије земљишта који су директно и блиско повезани. Они се одвијају готово симултано и њихови продукти, огромна количина воде и наноса, улазе у хидрографску мрежу и настављају своје кретање као двофазни флуид (Bathurst, 2007). Снага воде у оваквим процесима чини да протицај воде и пронос наноса током бујичних поплавих таласа представљају највећи удео у укупном годишњем протицају воде и транспорту наноса. Ерозија земљишта, тј. процес генезе наноса представља одношење површинског слоја земљишта под утицајем

површинског отицаја воде и значајан је фактор деградације земљишних ресурса неког подручја (Гавриловић, 1975; Костадинов, 2008).

Последњих неколико деценија се и у хидрологији поставља актуелно питање о утицају климатских промена на хидролошке процесе и циклусе. Ако се тренд пораста температуре ваздуха настави у будућности да ли ће последично доћи до интензивирања глобалног хидролошког циклуса и какву ће динамику имати овај процес, да ли ће доћи до промена у доступности водних ресурса, као и у учесталости и интензитету климатско-хидролошких екстрема (Huntington, 2006; de Vries, 2010)? Према аутору Barredo (2007), од педесетих до деведесетих година прошлог века, посматрајући по декадама, број поплава у сливовима европских река је значајно порастао. У првих 5 година текућег века догодиле су се 104 поплаве на простору Европске Уније, док је број великих поплава, са преко 70 људских жртава и/или укупном штетом већом од 0.005% ЕУ бруто националног дохотка (0.005% ЕУ ГДП еквивалентно је са 541 милиона еура према прорачуну из 2005. године), такође у порасту. На основу досадашњих трендова закључује се да се број хидролошких и метеоролошких непогода и катастрофа готово удвостручио након осамдесетих и деведесетих година прошлог века (Barredo, 2007; Munich Re, 2009).



Слика 2.1. Број природних катастрофа у свету за период 1980.-2008. године

Извор: Munich Re, 2009.



Дакле, запажена је повећана учесталост климатских екстрема и последично временских непогода и природних катастрофа (Слика 2.1.). Запажено је смањење влаге у земљишту током вегетационог периода у брдско-планинским подручјима, што је фактор угрожавања вегетационог покривача, која је главни чинилац заштите од наглог формирања отицаја и ерозије. Истовремено, запажен је тренд прерасподеле унутаргодишње количине падавина са више падавина у виду јаких пљускова (Commission of the European Communities, 2004). Поред тога, на процесе у бујичним сливовима битно утиче начин коришћења земљишта и све интензивнија урбанизација и то, смањењем водопрпусних површина и тиме повећањем површинског отицаја.

У опису природних услова и фактора који следи намеће се логичан закључак о њиховом међусобном преплитању чиме се ствара специфично локално окружење за појаву бујичних поплава након интензивних киша. Сплет природних и антропогених чиниоца условили су перцепцију бујичних поплава као природних непогода повећане учесталости.

## **2.2. Природни услови и фактори појаве бујичних поплава**

Специфичне и варијабилне карактеристике климе и рељефа, геологије терена, педолошког и вегетационог покривача, али и промене социоекономских прилика, као што су миграције становништва или начин коришћења земљишта, представљају широк спектар услова и фактора појаве бујичних поплава у Србији. Честина појаве бујичних поплава, тј. учесталост и ризици појаве бујичних поплава зависе од сплета ових фактора, односно услова за њихово формирање.

За сликове веће површине карактеристичне су поплаве дужег трајања, као и мање варијације протицаја воде у односу на сликове мање површине. Велика енергија рељефа омогућава наглу концентрацију поплавних вода у водотоку. Нагиб рељефа је важан природни чинилац с обзиром да одређује брзину кретања воде по терену (Dragićević et al., 2007). Слинови са већим нагибом падина имају стрмије гране пораста и већу вршну ординату хидрограма у односу на оне са мањим

нагибом падина. Тачније, са већим нагибом повећава се кинетичка енергија воде и удео директног отицаја, а смањује се износ инфилтрације и базног отицаја. Међутим, велика покривеност вегетацијом може ублажити утицај нагиба на величину отицаја (Живковић, 1995; Николић et al., 2007). Морфологија падина и дужина пада имају утицаја на концентрацију и брзину кретања воде, с обзиром да дуже падине са израженим континуалним нагибом омогућавају веома брз отицај и обрнуто. Експозиција рељефа утиче на температуру ваздуха и тла и вегетацију, односно утиче на локалне услове у сливу као и процес евапотранспирације.

Како планински врхови представљају препреку влажним ваздушним фронтovima из којих се излучују обилне падавине, велика надморска висина у нашим условима гарантује повећање количине падавина и тиме отицаја. Наветрене стране планинских пречага изложене су већој количини падавина од заветрених. Изражена вертикална рашчлањеност, односно дисекција рељефа, обично подразумева и гушћу речну мрежу.

Облик, величина, геометрија слива и хидрографски систем спадају у групу хидрографских карактеристика од значаја за формирање отицаја. За бујичне сливове мале површине карактеристична је веома брза реакција на јаке кише. Под претпоставком да су природни услови условно речено идентични, за сливове лепезастог облика карактеристични су нагла концентрација површинских вода и хидрограми са стрмијом граном пораста у односу на сливове издужене форме.

Познавање параметара густине и неравномерности речне мреже слива може допринети објашњењу динамике појаве бујичних поплава. Од уравнатог пада речног корита, средњег нагиба терена, дужине слива по главном току, одстојања од излазног профила до тачке у кориту главног тока која је најближа тежишту слива, зависи време концентрације слива, односно време потребно елементарној запремини отицајне воде да из тачке на вододелници од које почиње главни ток доспе до излазног профила (Ристић, 2006b).

Разумевање метеоролошких и хидролошких карактеристика и процеса у сливу који имају контролу над феноменом бујичних поплава је важно и са научног и са социјалног аспекта (Borga, 2010). Годишња количина падавина, унутаргодишња расподела падавина и интензитети јаких киша су есенцијални чиниоци од којих зависи режим вода. Појава бујичних поплава је условљена пре свега интензивним „бујичним кишама“ које изазивају брзу реакцију на сливима обично мале величине, великог нагиба падина (1-15%) и јаког интензитета ерозије земљишта - (Gavrilović, 1975; Kostadinov, 2008). Јаке бујичне кише обухватају подручја мале површине с обзиром да се излучују из облака типа кумулонимбуса (Cb), услед развоја конвективне облачности.

Брзина ветрова, температура ваздуха, инсолација и влажност ваздуха су такође важни климатски параметри који одређују величину евапотранспирације. Евапорација са земљишта и водених површина и транспирација са вегетације су главни процеси примарне компоненте хидролошког циклуса, које је неопходно узети у обзир у циљу свеобухватног посматрања процеса у сливу (Николић, 2010), мада они не могу значајније утицати на појаву бујичног поплавног таласа. Јаки пљускови су несумњиво најзначајнији метеоролошки фактор појаве бујичних поплава од чијег интензитета зависи облик хидрограма. При анализи отицаја у сливу посебан акценат се ставља на податке о падавинама с обзиром да представљају важан улаз у хидролошким прорачунима. Падавине су у директној и непосредној вези са отицајем и његова су најважнија детерминанта (Bewen, 2008; Garambois et al., 2014).

Дневне падавине региструје Републички хидрометеоролошки завод Србије у оквиру своје мреже кишомерних и падавинских станица од педесетих и шездесетих година прошлог века. Када је реч о обичним кишомерима, мерење падавина се врши по принципу пражњења кишомера сваког дана у исто време (7 h, према препоруци WMO) за последња 24 часа, па тако није познато трајање и интензитет кише. За поједине кишомерне станице постоје плувиографске траке, а у скорије време шири се мрежа аутоматских кишомера који могу регистровати интензитет и трајање пљускова. Стога, детаљнија резолуција података о

интензитету пљускова доприноси прецизности анализе и моделирања отицаја у сливу.



Слика 2.2. а) Савремени мониторинг падавина и брзине ветра у сливу Топчидерске реке (подслив потока Рипе) б) Мерни профил са лимниграфом и водомерном летвом на потоку Рипе в) Водомерна станица „Рипањ рампа“ на Топчидерској реци (Фото: С. Костадинов)

Међутим, треба нагласити да код многих кишомерних станица не постоји континуитет мерења падавина и њихових интензитета услед кvara апарата или гашења станица и настајања нових. Каткад су се измерени подаци показали као нетачни услед рецимо оштећења мерних инструмената у налету поплавног таласа. За прецизније анализе отицаја у бујичним сливовима потребна је гушћа мрежа кишомерних станица, нарочито имајући у виду карактер кумулонимбуса. Ако је

познато да се највећи део водног потенцијала формира у планинским и брдским подручјима онда би требало очекивати и адекватну мрежу кишомерних и хидролошких станица у овим пределима (Живковић, 1995). На тачност регистрованих података утиче и одговорност локалних становника задужених за мерење.

Осим стандардних мерења РХМЗС-е, постоје мерења падавина појединих истраживачких и пројектантских организација која се врше најчешће у сврху одређених пројеката. Тако на пример, у оквиру пројекта MONITOR II и пројекта „Учесталост бујичних поплава, деградација земљишта и вода као последица глобалних промена“, у сливовима Топчидерске реке (Слика 2.2.) и Врањско-бањске реке инсталирана је опрема Eikelkamp - e+ Rain logger за мерење интензитета кише и укупне количине кишних падавина и e+ Water L сензор нивоа површинских вода, који се алармира приликом преласка дефинисаних прагова.

Бујичне поплаве могу бити инициране коинциденцијом јаких киша и наглог отапања снега почетком пролећа услед продора топлих ваздушних маса, као што је био случај са поплавом реке Власине и њених притока децембра 1962. године (Стефановић, 2010).

Литолошки састав терена се сматра важним модификатором природних процеса у сливу. Геолошка основа при датим климатским условима битно утиче на формирање педолошког слоја и његових карактеристика. Истраживање Живковића (1992) доказује да густина хидрографског система, поред карактеристика падавинског режима, рељефа и удела површина под шумама у сливу, битно зависи и од геолошке подлоге. У сливу Тимока, који је подељен у 7 секција према врсти геолошке подлоге, највећа густина хидрографског система сталних и периодичних токова ( $1293 \text{ m/km}^2$ ) заступљена је на терену чија је геолошка подлога представљена магматским стенама, а најмања ( $248 \text{ m/km}^2$ ) је на теренима са кречњачком подлогом. Аналогно томе, може се говорити и о утицају геолошке подлоге на величину отицаја.

Битан моменат код геолошких карактеристика слива односи се водопропустљиве и водонепропустљиве слојеве и њихов контакт, односно дубину нивоа прве издани. Тако на пример, терени изграђени од дијабаз-рожначке формације се одликују слабом водопрпусношћу, а с обзиром да се ове стене јављају у подручјима великих углова нагиба, може се очекивати и нагло формирање отицаја (Костадинов, 2008). Са друге стране, изломљене и јако поремећене стенске масе омогућавају знатну инфилтрацију кишнице чиме се површински отицај смањује. Стога је за различите стене широк распон вредности хидрогеолошких параметара, пре свега хидрауличног кондуктивитета и специфичне издашности.

На формирање отицаја највише утичу гранулометријски, минералошки и органогени састав и водно-ваздушни режим земљишта. На тлу са већим учешћем глиновитих честица, услед снажне кохезије и збијености земљишта, отицај ће бити брже формиран него на тлу са мање глиновитих фракција. Супротан је случај са земљиштем са већим учешћем песковитих честица с обзиром на знатно већу водопрпусност и тиме, смањен површински отицај. Уколико земљиште садржи већу количину органске материје, структура му је порознија а моћ инфилтрације већа, што коначно умањује нагли отицај по површини терена услед јаких киша (Antić, 2007).

Од инфилтрационих услова земљишта зависи брзина формирања површинског отицаја. Када велики прилив падавина презасити земљиште и дође до испуњења свих земљишних шупљина и пора водом, повећава се специфична тежина земљишта. Инфилтрациони капацитет земљишта зависи од врсте земљишта, претходног садржаја влаге у земљишту и интензитета падавина. Зато је, рецимо у примени SCS методе (Soil Conservation Service, 1972) битно детерминисати хидролошке класе земљишта на основу минималног износа инфилтрације за један час (A, B, C, D).

О утицају вегетације на величину отицаја постоје бројне студије указујући на позитиван ефекат шума с обзиром да побољшавају водни режим земљишта, поспешују интерцепцију и евапотранспирацију, умањују површински отицај. У

случају постојања шумског покривача битно је анализирати његов квалитет и састав, с обзиром да деградиране шуме имају мање позитивног утицаја на режим отицаја у односу на шуме доброг склопа (Kostadinov, 2013). Већа покривеност вегетацијом подразумева и већу рапавост терена, што условљава смањење брзине кретања воде (Ђukić, 2010). Међутим, површине под шумом изазивају слабија асцедентна струјања чиме повећавају количину падавина за чак 10% у односу на околни терен (Живковић, 1995). Супротно томе, голети и подручја са оскудном вегетацијом, нарочито када су на већим нагибима терена, стварају најповљније услове за брз површински отицај и формирање бујичног поплавног таласа. Правилно газдовање шумама представља значајан допринос уравнотеженом режиму отицаја у сливу без појаве честих и катастрофалних бујичних поплава (Kostadinov 2013a).

Природни услови и процеси у сливу су најчешће модификовани дејством човека и то урбанизацијом у нижим, а пољопривредном делатношћу или нелегалном сечом шума у вишим деловима слива (Kostadinov & Marković, 1996). Док се повећањем урбаних површина смањују пропусне површине, нерационалном експлоатацијом шума и неадекватном техником обраде земљишта значајно се погоршава природна структура земљишта и стварају повољни услови за интензивне процесе ерозије земљишта. Овако измењени услови доводе до наглог формирања отицаја на падинама и максималних протицаја у речном кориту.

Као важан антропогени фактор повећања деструктивности бујичних поплава све чешће се наводи запуштеност и затрпаност смећем и другим материјалом речних корита на појединим деоницама. Стога локалне самоуправе морају преузети већу одговорност у решавању проблема депонија у рекама. С обзиром да налети бујичних поплавних таласа могу бити фатални по локално становништво, неопходне су акције информисања становништва о мерама превенције и понашања у време налета поплавног таласа.

Осим најчешће негативних, постоје позитивни антропогени утицаји на формирање отицаја и бујичних поплавних таласа који се огледају у реализацији

радова на регулацији бујичних корита и противерозионим радовима у сливу. Систем уређења бујичних сливова подразумева примену техничких мера (подужни и попречни објекти у коритима бујичних водотока) и биолошких мера (пошумљавање, затрављивање, подизање воћњака, заштитних појасева, плетера, тераса) (Костадинов & Борисављевић, 2012). Тако на пример, изградња брана и микроакумулација омогућава прихватање поплавног таласа и доприноси смањењу врха поплавног таласа низводно, или, промена обраде земљишта по нагибу у контурну, појасну обраду земљишта по изохипси у комбинацији са дренажним браздама омогућава смањење величине отицаја. Осим позитивног утицаја на отицај, пошумљавање деградираних површина се увек показало економски ефикасним (Zlatić et al, 2000).

### **2.3. Основне методе у анализи бујичних поплава**

У највећем броју случајева, бујични сливови су хидролошки неизучени или недовољно изучени, односно мерења падавина, водостаја и протицаја воде врше се краће од 15 година или немају континуитет. За прецизне хидролошке анализе потребан је низ од најмање 25 до 30 година континуираног мерења. Док се за изучене бујичне токове користе статистичке методе стохастичке хидрологије пошто мерни подаци постоје, на неизученим сливовима примењују се прорачуни параметарске хидрологије засновани на принципу трансформације рачунске кише у рачунски протицај (Ристић et al., 2009).

Анализа плувиометријског режима у случају неизучених бујичних сливова представља приступни корак у прорачуну максималних протицаја воде и уопште у хидролошким истраживањима процеса и појава у сливу. У опсервацији јаких пљускова, нарочито је важно одредити интензитет падавина на основу висине и трајања падавина. За одређивање учесталости појаве јаких киша користе се теоријске расподеле вероватноћа. У хидролошким студијама бујичних сливова код нас, широку примену имају Gumbel и Log Pearson III расподела, а за поуздане резултате користе се подаци о падавинама за низ мерења најмање 25 година.



У бујичарској пракси Србије прорачун максималног протицаја  $Q_{\max}$  одређене вероватноће појаве (најчешће 1%) на неизученим сливовима обавља се комплексним и комбинованим поступком који се састоји од примене теорије синтетичког јединичног хидрограма за израчунавање максималног јединичног отицаја,  $q_{\max}$  и примене SCS методологије за одређивање ефективне нето кише од укупне бруто кише,  $P_e$ .

Служба за конзервацију земљишта (Soil Conservation Service), данас Служба за конзервацију природних ресурса (USDA Natural Resources Conservation Service), творац је SCS методологије за раздвајање ефективних од укупних падавина. Сврха SCS методе састоји се у трансформацији укупних, бруто киша ( $P_b$ ) у ефективну, нето кишу ( $P_e$ ) на основу израза:

$$P_e = \frac{(P - 0.2 \cdot d)^2}{P + 0.8 \cdot d} \quad (1)$$

где је  $d$  – потенцијално могућа инфилтрација (mm), која се израчунава као:

$$d = 25.4 \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right). \quad (2)$$

CN (Curve Number) представља број криве отицаја чија се вредност детерминише на основу хидролошке класе земљишта (A, B, C, D), начина коришћења земљишта и хидролошких услова. Као подлоге за одређивање овог параметра користе се топографске, педолошке и геолошке карте и карте начина коришћења земљишта.

На основу топографских карата или дигиталног модела висина (DEM) коришћењем ГИС технологије одређују се основне морфометријске карактеристике слива (површина и обим слива, кота на вододелници по правцу хидраулички најдужег тока, најнижа тачка на сливу, средња надморска висина, дужина слива по главном току, одстојање од тачке у речном кориту која је најближа тежишту слива до излазног профила, апсолутни нагиб речног корита, уравнати пад речног корита и средњи нагиб терена). Ови параметри су неопходни за прорачун времена кашњења слива ( $t_p$ ) које уз податак о трајању кише даје време пораста хидрограма ( $T_p$ ). Време опадања хидрограма ( $T_r$ ) израчунава се као функција површине слива (A). Временска база хидрограма ( $T_b$ ), представљена збиром времена пораста и опадања хидрограма, омогућава израчунавање вршне

ординате синтетичког јединичног хидрограма, односно максималног протицаја према изразу (Ристић & Малошевић, 2011):

$$Q_{\max} = \frac{0.56 \cdot A \cdot 1.0}{T_b} (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}) \quad (3)$$

а применом израза  $Q_{\max} (\%) = q_{\max} P_e$ , добија се податак о максималном протицају одређене вероватноће појаве.

Време кашњења слива,  $t_p$  (h) према аутору Huggins, представља интервал од центра хијетограма ефективне кише до врха хидрограма поплавног таласа и кроз емпиријске формуле више страних аутора израчунава се као функција трајања ефективне кише ( $T_k$ ), времена концентрације ( $T_c$ ), уравнатог пада корита ( $I_u$ ), средњег нагиба терена ( $I_{sr}$ ), дужине слива по главном току ( $L$ ), одстојања од излазног профила до тачке у кориту главног тока која је најближа тежишту слива ( $L_c$ ). Према истраживању Ристића (2003), којим је обухваћено 93 контролна профила на територији Србије, применом регресионе анализе, добијена је висока зависност времена кашњења од параметара приказаним у следећим изразима:

$$t_p = 0.751 \left( \frac{L \cdot L_c}{\sqrt{I_u}} \right)^{0.336} \quad (4)$$

$$t_p = 1.399 \left( \frac{L \cdot L_c}{\sqrt{I_u \cdot I_{sr}}} \right)^{0.315} \quad (5)$$

$$t_p = 0.693 \cdot T_c \quad (6)$$

Време концентрације ( $T_c$ ), у скорашњем истраживању (Ристић, 2006b) којим је обухваћено 93 контролна профила на територији Србије, третира се као време од завршетка ефективне кише до прве превојне тачке на регресионој грани хидрограма. Применом регресионе анализе утврђено је да  $T_c$  показује висок степен зависности у односу на основне физичко-географске карактеристике слива: површину ( $A$ ), дужину слива по главном току ( $L$ ), одстојања од излазног профила до тачке у кориту главног тока која је најближа тежишту слива ( $L_c$ ), уравнати пад корита ( $I_u$ ) и средњи нагиб терена ( $I_{sr}$ ). Ове зависности приказане су следећим изразима помоћу којих је на основу познатих физичко-географских карактеристика слива могуће израчунати време концентрације,  $T_c(h)$ :

$$T_c = 0,316 \cdot L^{0,933} \quad (7)$$

$$T_c = 0,502 \cdot A^{0,506} \quad (8)$$

$$T_c = 0,819 \left( \frac{L \cdot L_c}{\sqrt{I_u}} \right)^{0,376} \quad (9)$$

$$T_c = 0,47 \cdot L^{0,826} \cdot I_u^{-0,127} \quad (10)$$

$$T_c = 0,609 \cdot L^{0,898} \cdot I_{sr}^{-0,17} \quad (11)$$

$$T_c = 0,56 \cdot L^{0,846} \cdot I_u^{-0,084} \cdot I_{sr}^{-0,08} \quad (12)$$

Време опадања хидрограма,  $T_r$  ( $h$ ) је временски интервал од тренутка појаве максималног протицаја до тренутка у ком престаје директан отицај, а израчунава се као функција површине слива и дужине слива по главном току према следећим изразима (Ристић, 2011):

$$T_r = 1,145 \cdot A^{0,446} \quad (13)$$

$$T_r = L^{0,743} \quad (14)$$

На основу претходних израза, треба истаћи да су хидрографски параметри слива важни чиниоци облика хидрограма и његовог изгледа, односно нагиба гране пораста и гране опадања, као и вршне ординате хидрограма. Топографско-хидрографске карактеристике слива су значајни фактори појаве бујичних поплава. Стога, времена кашњења, концентрације и опадања хидрограма одражавају особине слива у комбинацији са својствима падавина.

У анализи догађаја бујичних поплава користе се и алтернативне, односно комплементарне методе као што је метода хидрауличких трагова великих вода или денрогеоморфолошка метода чија је примена значајно допринела утврђивању учесталости појаве бујичних поплава (Ruiz-Villanueva et al., 2013). Тако је

истраживање Ruiz-Villanueva et al. (2010) на основу детаљних геоморфолошких опсервација сливова у којима нема мерења у медитеранском региону, анализе броја и дебљине година дрвећа, детектовања аномалија раста дрвећа у непосредној близини или самом речном кориту, омогућило реконструкцију седам догађаја бујичних поплава и њихово временско одређење. Zielonka et al. (2008) је у сливу тока Waksmundzka који је смештен на западним Карпатима, реконструисао догађаје бујичних поплава у периоду 1928. – 2005. године и то на основу 58 ожиљака које је нанос нанео стаблима дрвећа које се налази на обалама корита.

У нашој пракси се за прорачун максималног протицаја користи метода хидрауличких трагова великих вода која подразумева излазак на терен, најбоље непосредно након проласка поплавног таласа, и геодетско снимање улазног и излазног протицајног профила, тј. површине попречног пресека и оквашеног обима оба профила, коте трагова велике воде, на основу којих се дефинишу параметри као што су средња вредност површине попречног пресека протицајног профила ( $A_{sr}$ ), средња вредност хидрауличног радијуса ( $R_{sr}$ ) и нагиб воденог огледала ( $I$ ). Применом Шези-Манингове једначине за једнолико течење, која уводи Manning коефицијент рапавости ( $n$ ), долази се до податка о максималном протицају ( $m^3/s$ ):

$$Q_{max} = \frac{1}{n} \cdot A_{sr} \cdot R_{sr}^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

Тако је за поплазни талас Равне реке у сливу Власине 26. јуна 1988. године ( $A=5.93 \text{ km}^2$ ), израчунат максимални протицај воде  $Q_{max} = 49.09 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , са повратним периодом  $T = 800$  година (Kostadinov et al., 1992).

### **3. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА**

#### **3.1. Општи приступ**

Методолошки приступ осмишљен са циљем временске и просторне карактеризације бујичних поплава у Србији и разраде хидролошких модела увођењем фактора појаве бујичних поплава у репрезентативним сливовима, прилагођен је решавању постављених научних проблема и, уопштено говорећи, обухвата следеће побројане ставке.

- Детаљна анализа домаће и иностране стручне литературе и систематизација знања из области управљања ризицима од бујичних поплава и моделирања хидролошких система.
- Инвентар бујичних поплава у Србији израђен је на основу података из архивске новинске документације и стручних радова за период 1915. - 2013. године. Методологија за израду и развој Инвентара објашњена је у поглављу 3.2.
- Опсервација плувиометријског и хидролошког режима експерименталних сливова извршена је на основу података из фонда Републичког хидрометеоролошког завода о средње дневним и карактеристичним, односно минималним и максималним годишњим вредностима протицаја и падавина измерених на хидролошким и метеоролошким станицама у сливовима. За моделирање бујичних поплава одабрани су они догађаји у којима је до поплаве дошло услед јаких киша (не и комбинације јаких киша и наглог топљења снега или само наглог топљења снега) а да пет до десет дана пре појаве поплавног таласа није било поплавних таласа. Коришћени су часовни подаци о падавинама и протицају и евапотранспирацији.

- Анализовани су природни услови и физичко-географске карактеристике (геолошке, педолошке, вегетацијске, климатске) као и морфометријски параметри експерименталних слива (обим и површина слива, густина речне мреже, апсолутни нагиб дна речног корита, уравни пад дна речног корита, средња надморска висина слива, средња висинска разлика слива, средњи пад слива) који представљају, појединачно и узајамно, битне факторе односно сплет фактора појаве бујичних поплава.
- Анализа фактора појаве бујичних поплава извршена је за два репрезентативна бујична слива и коришћењем софтвера за хидролошко моделирање SHETRAN разрађени су хидролошки модели отицаја.
- У прорачуну процеса отицаја у сливу, коришћене су физички базиране методе за прорачун процеса инфилтрације и евапотранспирације, кретања воде по површини терена и кроз хидрографску мрежу, кретања воде у засићеној и незасићеној средини, које су интегрисане у софтвер SHETRAN, а објашњене су у поглављу о структури и теоријским поставкама модела.
- Моделирање поплавних таласа у овом раду подразумева симулацију хидролошког понашања слива (не и псамолшког), па се у наставку текста говори о хидролошком моделу. Један поплавни талас коришћен је за калибрацију модела (било који од четири одабрана поплавна таласа може послужити за калибрацију модела), док су три карактеристична хидрограма коришћена за верификацију, односно валидацију модела.
- У раду је коришћена ГИС технологија, односно програм ArcGIS (верзија 9.2) за одређивање параметара слива и припрему података за моделе отицаја. Коришћена је статистичка метода просте и вишеструке регресије у програму Statgraphics.

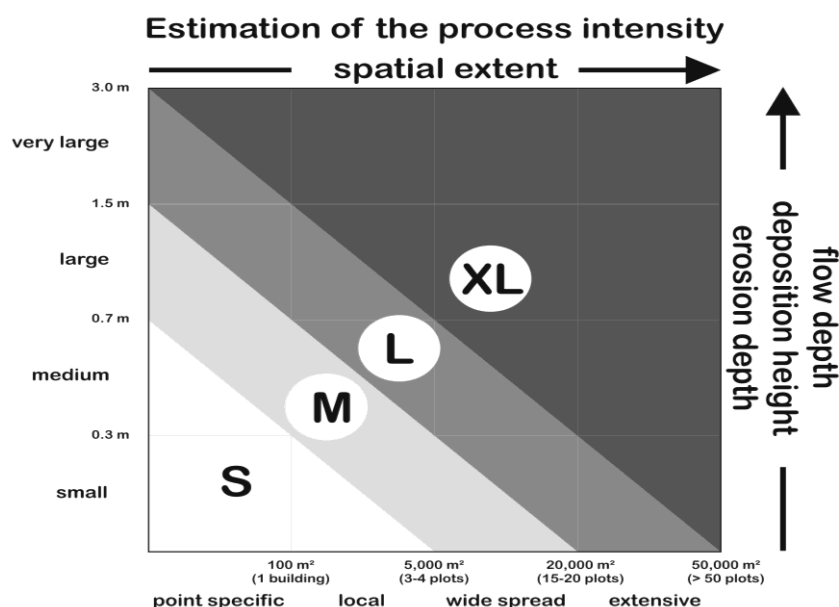
### 3.2. Инвентаризација догађаја бујичних поплава

Добра основа и камен темељац за решавање одређеног проблема су базе података и инвентари, и обратно, проналазак адекватних решења је обично онемогућен недостатком информација. У развоју инвентара и база података наилази се на проблеме доступности, квалитета, организације, анализе и даљег коришћења и дисеминације података (European Parliament & Council, 2007b; Gaume, 2009). Упркос чињеници да природне непогоде и катастрофе имају изузетно деструктивно дејство на друштво и економију, у многим државама ови феномени су оскудно документовани и недовољно схваћени.

Међутим, историјска документација о природним непогодама и катастрофама у неким развијеним земљама је изузетно богата и бележи те појаве за последњих чак неколико stoleћа. У том смислу, треба издвојити швајцарску базу података са преко 20.000 догађаја природних непогода (Ruf & Loat, 2012). Аустрија располаже са базом података од око 28.000 догађаја природних непогода, од чега појаве бујичних поплава и појаве камено-блатних токова чине 20.100. Просечан годишњи број догађаја бујичних поплава у Аустрији износи 37, док је највећа учесталост појаве забележених бујичних поплава уочена у периоду 1950.-1970. године (Hübl et al., 2011).

Структурна база података о природним непогодама у Аустрији састоји се из информација које су прикупљене на основу документације Аустријске службе за уређење бујица и заштите од лавина, Strele извештаја из 1893. године, као и геоморфолошких, стратиграфских и дендрохронолошких студија и процена. Постављен је 3W Standard (What happened, When and Where) који захтева минимум информација о врсти природне непогоде, локацији и датуму догађаја. Поред тога, део ове базе података су и подаци о штетама и губицима, факторима њихове појаве и њиховој учесталости. База података је послужила за анализе како би се добио просторно-временски преглед бујичних догађаја у овој држави. Најранији забележени догађај датира из 6. века, док се први детаљнији подаци о таквим догађајима јављају у 18. веку. На основу доступних података вршена је

процена интензитета догађаја од S до XL и на основу тога њихова класификација, док је у погледу материјалних штета и губитака извршена категоризација (Слика 3.1.) (узимајући у обзир људске жртве, поплављене зграде, пошумљене и пољопривредне површине и поплављену инфраструктуру) и њихова субкатегоризација. На основу временских серија утврђене су магнитуде, односно повратни периоди забележених догађаја као и њихов интензитет. Бујичне поплаве са великим повратним периодом су истовремено и најјачег интензитета (XL).



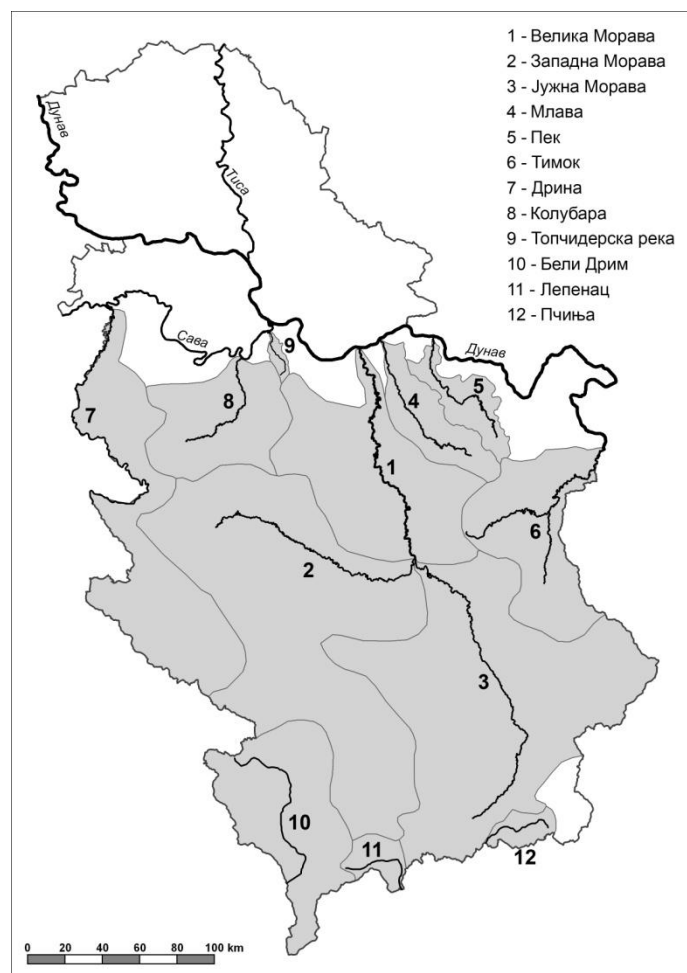
Слика 3.1. Класификација догађаја бујичних поплава за планинска подручја у Аустрији. Извор: Hübl et al., 2011.

Инвентаризацијом бујичних поплава у Србији у овом раду обухваћени су догађаји бујичних поплава које су карактеристични за брдско-планинске регионе, односно територију јужно од Саве и Дунава (Слика 3.2.). Поред тога, у Инвентару су пописане поплаве бујичних токова на Фрушкој гори и Вршачким брдима у Војводини.

Према аутору Костадинову (2008), најзначајније поплаве бујичних токова јављају се у сливовима притока Јужне и Западне Мораве. Површина бујичних сливова у Србији креће се у опсегу од 0,2 km<sup>2</sup> у Грделичкој клисури (Зла долина I, II, III) до



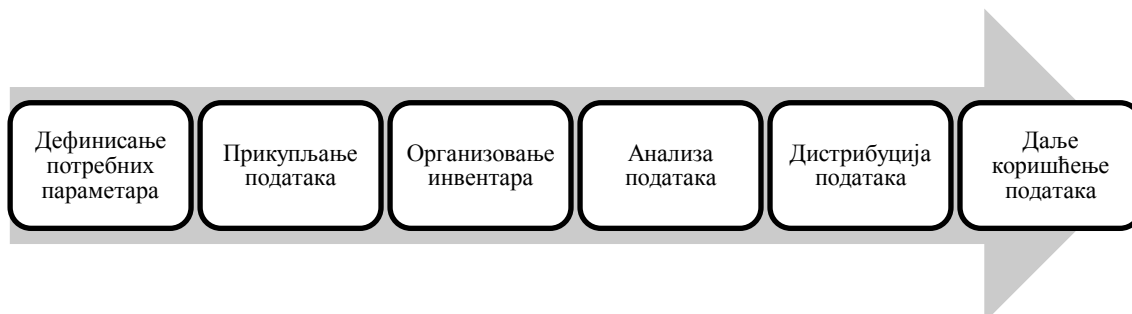
преко 1000 km<sup>2</sup> (А слив Власине = 1060 km<sup>2</sup> или А слив Нишаве = 3970 km<sup>2</sup>) (ВОС, 2001).



Слика 3.2. Најзначајнији речни сливови у Србији са аспекта појаве бујичних поплава

Фазе у развоју Инвентара бујичних поплава у Србији (Слика 3.3.) могу се поистоветити са елементима управљања подацима о природним непогодама у Швајцарској према ауторима Ruf & Loat (2012). На самом почетку, дефинисане су потребе за одређеним информацијама и предвиђена је даља употреба Инвентара. Најпре је дефинисано на који начин прикупљати податке, који су подаци неопходни, на који начин ће се вршити обрада и анализа података, дистрибуција и њихово коришћење. Процес анализирања базе података је веома битан из разлога што резултати могу имати стратешки значај и научно усмерење. Коначни

результати су неопходни за комуникацију о ризицима од бујичних поплава са јавности и заинтересованим странама што је коначно од великог значаја за успешност интегрисаног управљања ризицима.



Слика 3.3. Фазе развоја Инвентара бујичних поплава у Србији

Прве фазе рада на Инвентару зависиле су од доступности података и подразумевале изазов у прикупљању геопросторних, метеоролошких и хидролошких података, података о узроцима појаве као и социоекономских података, података о последицама бујичних поплава, материјалним штетама и броју жртава.

Инвентар бујичних поплава у Србији настао је из новинских записа (из архиве новинара а касније и шефа администрације Шумарског факултета у Београду, Бошка Михајловића) објављених у књизи „Бујични токови у СР Србији“ (Gavrilović, 1975) за период 1915.-1970. године и поуздане архивске документације дневног листа „Политика“ за период од 1971.-2013. године. Осим тога, значајни извори који су давали детаљније податке били су стручни радови и студије у којима су анализирани појединачни догађаји бујичних поплава. Неке раније поплаве су реконструисане на основу хидрауличких трагова и података о дневним падавинама узимајући у обзир особине рељефа, педолошке и вегетационе услове као и социоекономске прилике. Тако су ове студије и радови саставни део Инвентара у виду прилога.

Како би се употпуниле историјске серије података о бујичним поплавама, званични захтеви и анкете су послати надлежнима у неким општинама које су угрожене појавама бујичних поплава. Поред локалних, и државне институције (Министарство за пољопривреду, шумарство и водопривреду, Републичка

дирекција за воде, Републички хидрометеоролошки завод, Јавно предузеће „Србија Воде“, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“) биле су позване да дају допринос у изради Инвентара о бујичним поплавама са својим архивама и стручним материјалом. Међутим, одговор и са локалног и са националног нивоа био је слаб услед чињенице да је систематско прикупљање података било веома оскудно. Хидролошки и метеоролошки подаци РХМЗС-е могу бити веома вредни у анализи и реконструкцији већине догађаја бујичних поплава, а зависно од почетка рада хидролошких и метеоролошких станица. Интензивна сарадња са РХМЗС-е може бити следећи корак у развоју Инвентара ка детаљној бази података. Локални штабови за ванредне ситуације, који однедавно припадају организацији локалних самоуправа, поседују податке о скорашњим поплавама али без препознавања бујичних поплава као посебне врсте поплава, што је последица непрецизне законске регулативе.

Пошто је, на основу прегледа извора информација, предвиђен проблем недостатка детаљних података, формиран је минимални захтев у погледу података о појединачним догађајима бујичних поплава који су били неопходни за даљу анализу:

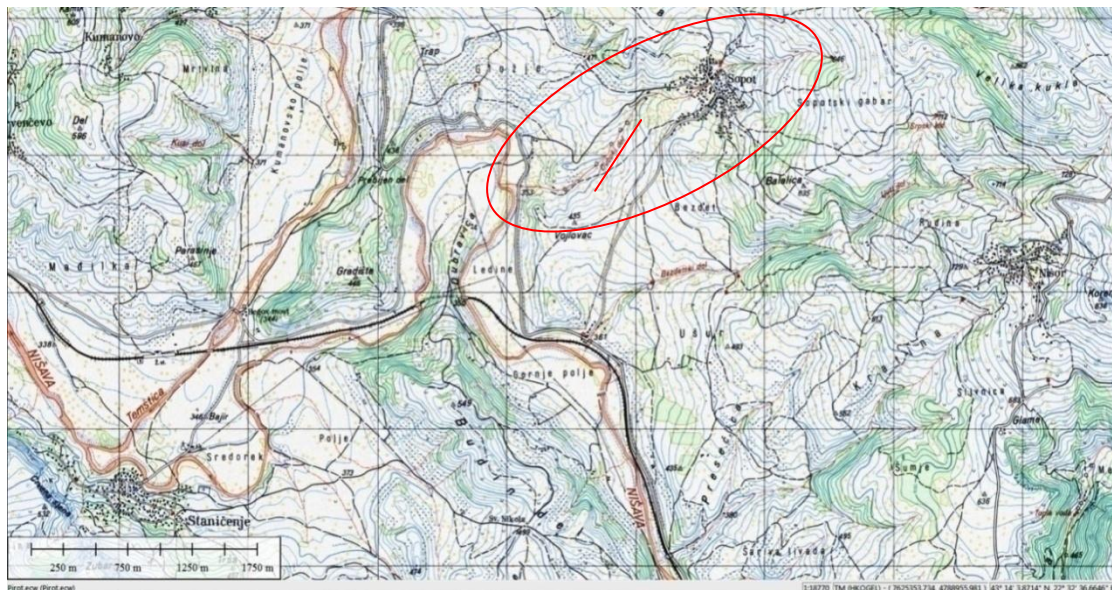
- Датум догађаја бујичне поплаве (у формату: 01-06-2000)
- Назив слива у коме се догодила забележена бујична поплава, као и макро слива коме овај слив припада
- Назив места која су претрпела материјалне штете
- Опис узрока и догађаја бујичне поплаве
- Број људских жртава/број повређених особа
- Материјалне штете (изражене новчано и/или у броју поплавлених стамбених објеката и површина различитих врста инфраструктура)
- Додатне информације, нпр. максимални протицај, количина падавина и сл.
- Извор информација (ради праћења поузданости извора).

Међутим, неке бујичне поплаве су регистроване са некомплетним информацијама. На пример, за један догађај бујичне поплаве дати су само месец и година догађаја и име бујичног водотока. Са друге стране, бујичне поплаве које су

регистроване са детаљним подацима о максималном протицају, интензитету и трајању кишних падавина, водостају или објашњењем о томе шта је био иницијални фактор појаве бујичне поплаве дају димензију детаљности Инвентара. Треба имати у виду и оне бујичне поплаве које су се догодиле на микро сливовима који нису насељени, односно где није било штетних последица по друштво, тако да оне нису ни примећене ни забележене. Забележени су и случајеви бујичних поплава које су настале услед не само интензивних падавина у бујичним сливовима, већ и услед затрпаних, неочишћених или чак забетонираних речних и поточних корита. Такође се може претпоставити да нису пописане и регистроване све бујичне поплаве које су се реално догодиле у овом временском распону.

Обично су извори информација давали назив водотока на коме се бујична поплава догодила као и назив насеља коме је поплава причинила одређену материјалну штету. Међутим, у неким случајевима познат је једино назив насеља, обично села које је претрпело штете у саобраћајној и стамбеној инфраструктури у току налета бујичног поплавног таласа, без индикација о водотоку. За идентификацију водотока на којима су се догодиле бујичне поплаве коришћене су геореференциране топографске карте у размери 1:25.000 за територију Србије које су штампане 1980. године у издању Војногеографског института. Геореференцирање и читавање мозаика карата вршено је у ГИС програму ArcGIS 9.2.

Тако је, на пример, лист „Политика“ 27. августа 1929. године забележила следеће: „Пирот, 26. август: Синоћ око пет часова поподне код вароши се изненада сручио страховит пљусак, праћен силном грмљавином и севањем муља. За непуна пола сата провала облака је обухватила цела два среза – Лужички и Нишавски. Набујала вода уз страховиту тутњаву је немилосрдно чупала дрвеће и усеве, носећи их заједно са огромним стенама, тешким 500 - 1000 kg, које је ваљала преко посејаних њива. Суводолски поточић однео је 20 кућа. У Костуру је било људских жртава, у селу Сопоту непогода је за 20 минута срушила 7 кућа.“



Карта 3.4. Водоток Дубоки дол, слив Нишаве

На основу овог описа, на геореференцираној топографској карти пронађено је село Сопот и идентификован водоток Дубоки дол на коме се догодила бујична поплава на шта претходни опис и указује (Карта 3.4.). У неким случајевима је водоток идентификован, али за њега нема назива на карти па је у Инвентару регистрован као безимени бујични водоток.

Према истраживањима Владислава Шакоте (1989), најстарији забележени, катастрофални па и историјски догађај бујичне поплаве у Србији води нас у децембар 1282. годину, у време владавине краља Стефана Уроша II Милутина и његовог рата против Византије, када се татарска војска потпила у нагло надошлом Дриму. Следећи познати запис датира из 16. века и односи се на поплаву реке Рашке 15. маја 1518. године. Потом се јављају вредни манастирски записи о катастрофалним поплавама на Фрушкој гори, у Полимљу, Новопазарском крају са људским жртвама из 17., 18. и 19. века. Ови записи дају значајне податке и представљају историјски увод у Инвентар бујичних поплава у Србији.

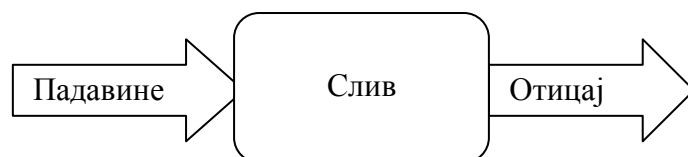
Инвентар бујичних поплава у Србији садржи податке о догађајима бујичних поплава који су се догодиле у 20. веку до данас. Податак са којим Инвентар

почиње односи се на бујичну поплаву Тимока која се догодила маја 1915. године и која је однела чак 25 људских живота.

Захваљујући различитим релевантним изворима података у Инвентару је пописано и регистровано 848 догађаја бујичних поплава у Србији у периоду 1915.-2013. године.

### 3.3. Идентификација програмског система за моделирање бујичних поплава

Хидролошки процеси у бујичним сливовима су веома комплексни природни процеси који зависе од низа природних услова и фактора а који су у одређеној мери модификовани антропогеним утицајима (Knight, 2006). Модели су корисни алати помоћу којих је могуће симулирати хидролошке процесе у сливу (Авакумовић, 2000; Summer, 2002). Хидролошки модели представљају алтернативни вид процене прага појаве поплавног таласа у датом сливу. Симулацијом је могуће приказати брзину реакције слива на падавине. Како се и којим интензитетом одвија процес формирања отицаја током времена може се приближити употребом физички базираних модела. Процеси кретања воде који се догађају испод површине терена, су такође битан део хидролошких процеса али су и даље само делимично познати (Beven, 2001). Ова чињеница није спречила многе хидрологе у креирању бројних модела с обзиром да постоји потреба за моделирањем хидролошких процеса нарочито када је реч о малим сливовима у којима нема континуираних хидролошких мерења или је реч о недостацима и ограничењима самих техника хидролошких мерења.



Слика 3.5. Хидролошки модел

Једном установљен модел заснован на реалним подацима о свим неопходним параметрима у сливу може послужити као значајан инструмент за ублажавање

последица бујичних поплава и то манипулацијом улазних података о падавинама, а пре свега у смислу предвиђања догађаја бујичних поплава чиме модели постају значајан елемент управљања ризицима од поплава и процеса доношења одлука (Beven, 2001; De Barry, 2004).

Моделирање може бити важан инструмент у процени понашања и одговора слива у случајевима када се планирају одређене промене у начину коришћења земљишта, а те промене су најчешће у правцу ширења урбанизованих и индустријализованих површина. Корисност система за моделирање огледа се у могућности њиховог интегрисања у савремене системе за управљање природним ризицима и процес доношења одлука (Wicks et al., 2011).

На подручју хидролошког моделирања, речни слив се посматра као хидролошки систем са својим карактеристикама. Улазни подаци у моделирању су подаци о висини падавина, а излазни су подаци о моделираном протицају (Слика 3.5.). У случају великих речних сливова некада су и дневне вредности падавина довољне, док је за мале сливове, који имају брзу реакцију на екстремне кише, неопходна детаљнија временска резолуција овог параметра, часовне или получасовне вредности падавина (Beven, 2001). Моделирање поплавних таласа у сливу у овом раду врши се на основу познатих података о падавинама, а моделирани хидрограм се упоређује са регистрованим. Међутим, некада се моделирање отицаја врши да би се добили једини подаци о протицају који се у сливу не мери. Једном установљен модел за одређени слив садржи подлоге односно податке о топографским, геолошким, педолошким и вегетацијским карактеристикама слива које одређују реакцију слива услед појаве различитих кишних епизода.

За потребе хидролошког моделирања, које је део истраживања у оквиру ове докторске дисертације, иницијални задатак постаје одабир најадекватнијег програмског пакета, тј. у развоју модела у овом раду препознате су следеће фазе:

- Идентификација модела
- Анализа осетљивости модела
- Калибрација модела

- Верификација модела
- Анализа резултата

У овом поглављу је обрађена идентификација софтвера за моделирање бујичних поплава којом се подразумева следеће:

- разматрање карактеристика више софтвера у предметној области, потом
- избор најадекватнијег софтвера на основу неколико важних критеријума, расположивих података и потреба, и коначно
- прилагођавање структуре модела конкретној намени.

Многе емпиријске хидролошке методе су интегрисане у компјутерске моделе како би се омогућило израчунавање протицаја (DeBarry, 2004). У последњих неколико деценија настајали су и усавршавани модели за симулацију генезе отицаја али и генезе и транспорта наноса, као што су ANSWERS (Areal Non-point Source Watershed Environment Response Simulation), који је развијан у САД упоредо са развојем софтвера SHETRAN у Великој Британији (а који су широко коришћени у споменутим државама), потом новији WEPP (United States Department of Agriculture's Water Erosion Prediction Project), или у Европи - EUROSEM (European Soil Erosion Model), LISEM (Limburg Soil Erosion Model), KINEROS (Kinematic Runoff and Erosion Model) и други. Међутим, идентификација најподеснијег софтвера за хидролошко моделирање може бити тежак задатак с обзиром на специфичност задатка. Већина модела је веома захтевна у погледу потребних података па је и ово често критеријум елиминације у избору најадекватнијег програмског пакета у случају када се располаже скромним фондом података. Структура и теоретске основе ових модела се разликују, а у том смислу треба нагласити да су амерички софтвери за хидролошко моделирање тестирани на експерименталним сливовима у САД. Према Even-у (2001), основне стратегије моделирања су класификоване, па тако постоји разлика између дистрибутивних и глобалних, односно физички базираних и емпиријских модела.



Табела 3.1. Компарација више физички базираних програмских пакета за моделирање отицаја

Критеријуми	SHETRAN	ANSWERS	WEPP	EUROSEM	LISEM	HEC-HMS	KINEROS
Величина слива	<2000 km <sup>2</sup>	<50 km <sup>2</sup>	<2.6 km <sup>2</sup>	мали сливови	мали сливови	зависи од избора метода	мали сливови
Просторна дискретизација	грид	грид	грид	униформна површина	грид	зависи од избора метода	униформна површина
Период симулације: а) континуални б) кишна епизода	а), б)	б)	а), б)	б)	б)	а), б)	б)
Кретање воде по површини терена: а) Хортонов модел б) подповрш. отицај	а), б)	а)	а)	а)	а), б)	а), б)	а)
Начин коришћења земљишта	широк спектар	пољопр. земљ.	широк спектар	пољопр. земљ.	пољопр. земљ.	широк спектар	више начина

Извор: Bathurst, 2002, допуњено

На основу критеријума датих у табели 3.1. анализирани су програмски пакети за хидролошко моделирање и њихове карактеристике и на основу тога идентификован је најподеснији програмски пакет за потребе овог рада. Сви представљени модели су физички базирани што значи да, узимајући у обзир физичке законитости и параметре, омогућавају реално описивање хидролошких процеса у сливу и међусобну интеракцију њихових компоненти. За разлику од ових, постоје концептуални модели који третирају предметне процесе на поједностављен начин, и емпиријски модели који не узимају у обзир физичке законитости који владају у сливу (Ђukić, 2010).

С обзиром да гридна дискретизација у сливу омогућава просторну променљивост физичко-географских параметара слива, у спектру физички базираних модела, дистрибутивни модели су прихватљивији у односу на пример EUROSEM или

KINEROS код којих се узима осредњена вредност физичко-географских параметара за цео слив.

У контексту даље употребе модела, прихватљивији су и кориснији модели са којима је могуће извести симулацију протицаја не само за одређену кишну епизоду, већ и период од више месеци или годину дана. Међутим, ако се одлучимо за симулације континуалних периода онда се могу појавити проблеми са недостатком података потребних параметара, у случају непостојања систематизованих база података. Програмски пакети који могу укључити више начина коришћења земљишта у сливу су подеснији за примену од оних који укључују само пољопривредна земљишта с обзиром да су такви сливови ређи и обично су мале површине. Осим SHETRAN-а, други програмски пакети су елиминисани услед ограничења у смислу величине слива, с обзиром да су предвиђени експериментални сливови површине преко 100 km<sup>2</sup>. Једино HEC-HMS подржава већи дијапазон површина али то зависи од избора метода, а исто важи и за просторну дискретизацију (усмена консултација са корисником HEC-HMS-а).

Главни разлози за избор програмског пакета SHETRAN као најподеснијег за потребе истраживања у оквиру овог рада били су:

- Велики распон површина слива који је предмет моделирања - уз помоћ овог програма могуће је добити добар модел за сливове површине у опсегу испод 1 km<sup>2</sup> до 2000 km<sup>2</sup>.
- Просторна дискретизација слива у виду гридне мреже.
- Широки спектар начина коришћења земљишта у сливу.
- Свеобухватна перцепција хидролошког система, његових компоненти и међусобних веза у циљу реалног представљања процеса отицаја (Табела 3.2.).

Програмски пакет SHETRAN је утемељен на модуларној структури и добро постављеним теоријским основама које су објашњене у наставку поглавља. SHETRAN је физички базиран, просторно дистрибутивни програмски пакет за хидролошко моделирање у речним сливовима који су развили стручњаци на Универзитету у Њукаслу, Одсеку за грађевинарство и геонауке, Лабораторији за

системско истраживање водних ресурса (WRSRL). Историја развоја SHETRAN програмског пакета почиње са 1. SHE (Système Hydrologique Européen), физички базираним просторно дистрибутивним системом за моделирање површинског и подповршинског отицаја у сливу, који је развијан 1970-их под утицајем истакнутих хидролога стручњака тог времена, међу којима су Freeze и Harlan; преко 2. SHESED, система за моделирање отицаја и транспорта вученог наноса, и 3. MIKE SHE система којим се могу моделирати и процеси ерозије земљишта, иригације, миграције загађивача (Ewen et al., 2000).

Табела 3.2. Процеси који се моделирају помоћу хидролошке компоненте програма SHETRAN

(1) Интерцепција кишнице на вегетацијском прекривачу (модел Rutter-a)
(2) Евапорација интерцептивне кишнице, са површинских вода и површине земљишта и транспирација са вегетације (Penman-Monteith једначина или однос стварне и потенцијалне евапотранспирације као функција влажности земљишта)
(3) Једнодимензионално кретање воде у незасићеној зони (једначина Richards-a)
(4) Дводимензионално кретање воде у засићеној средини (једначина Boussinesq-a)
(5) Дводимензионално кретање воде по површини; једнодимензионално кретање воде кроз водотоке (Saint Venant једначине)
(6) Интеракција засићене зоне и речног корита
(7) Интеракција воде из засићене зоне са површинском водом

Извор: Ewen et al., 2000; Bathurst, 2002.

Данас је SHETRAN 3D систем не само за моделирање генезе отицаја у сливу, већ и процеса транспорта наноса и загађујућих материја (Nasr et al., 2007), па је он моћно средство у области хидрологије и науке о животној средини. Предност овог система одгледа се и у могућности његовог коришћења за предвиђање утицаја начина коришћења земљишта (Birkinshaw et al., 2010) и климатских промена (Bathurst, 2002). У раду Bovolo et al. (2010), SHETRAN је одабран као хидролошки модел, модел за ерозију и клизишта и интегрисан у напредној технологији за процену ризика од природних непогода више врста.

Табела 3.3. Параметри потребни за развој модела (2013)

Назив параметра	Ознака	Јединица
Интерцептивни капацитет биљке	(STOR)	mm
Индекс лисне површине	(CLAI)	-
Индекс површине биљке	(PLAI)	-
Дубина корена биљке		m
Густина кореновог система	(RDF)	-
Дренажни параметар вегетације	(Rk)	mm/s
Дренажни параметар вегетације	(Rb)	mm <sup>-1</sup>
Стварна/потенцијална евапотранспирација	(AE/PE)	-
Дубина слојева земљишта		m
Влажност засићења земљишта	(w <sub>r</sub> )	-
Резидуална влажност земљишта	(w <sub>s</sub> )	-
Хидраулички кондуктивитет за земљишта	(K <sub>z</sub> )	m/day
Хидраулички кондуктивитет за стене	(K <sub>s</sub> )	m/day
Специфична издашност стена	(S)	
Van genuchten-alpha	(α)	cm <sup>-1</sup>
Van genuchten-n	(n)	-
Strickler-ов коефицијент за површински отицај	(S <sub>o</sub> )	(m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> )
Strickler-ов коефицијент за речне токове	(S <sub>r</sub> )	(m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> )

SHETRAN је написан у програму FORTRAN и ради у Microsoft Windows окружењу. Након припреме података за унос, следе следечи кораци у коришћењу овог програма. Први подразумева унос података о ДМВ-а, педологији и начину коришћења, односно вегетацији, часовним висинама падавина, протицаја и евапотранспирације за одређени период симулације у виду текстуалних датотека. Када се покрене GUI верзија програма SHETRAN формира се XML (eXtensible Markup Language) фајл са пратећим улазним и излазним фајловима. Овим кораком помоћу алгоритма уграђеног у GUI верзију програма аутоматски се генерише речна мрежа на основу ДМВ-а. Други ниво подразумева унос потребних података у улазне фајлове из XML фајла, док трећи представља саму симулацију помоћу стандардне апликације. Трајање симулације протицаја на основу датих података у

сливу зависи од дужине периода симулације а обично се своди на неколико минута. За покретање GUI верзије програма SHETRAN потребан је „минимум“ података, док су за другу фазу коришћења овог програма потребни подаци многих параметара представљени у табели 3.3.

### **3.4. Интеграција ГИС технологије и хидролошког модела**

Географски информациони системи, односно ГИС технологија постала је незаобилазан инструмент у анализама хидролошких процеса у сливу. Према дефиницији аутора Burrough (2006), ГИС представља моћан скуп алата за прикупљање, чување, анализирање, трансформацију и приказ просторних података. Многи програмски пакети за хидролошко моделирање подразумевају интеграцију ГИС-а и хидролошког модела. Употреба програмског пакета SHETRAN захтева припрему улазних података о топографским, геолошким, педолошким и вегетационим карактеристикама у сливу у програму ArcGIS.

Припрема дигиталног модела висина (DEM) у ArcGIS за потребе SHETRAN-а слична је припреми за друге хидролошке програмске пакете (на пример HEC-HMS) и обухвата следеће кораке (тачке 2. и 3. објашњене су на основу ArcGIS Help 9.2):

- Додељивање националне картографске пројекције, односно геореференцирање дигиталног модела висина који је унет као tif фајл. Коришћен је дигитални модел висина типа SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) резолуције 90 m.
- Поступком теселације, односно дискретизације простора, слив је подељен у гريدне ћелије, чија се величина одређује адекватном резолуцијом узимајући у обзир потребу представљања варијација атрибута (Burrough & McDonnell, 2006). Просторна анализа дигиталног модела висина у оквиру модула „Spatial Analyst“, подмодула „Hydrology“, почиње дефинисањем величине гريدне ћелије у модулу „Generalization“. При одређивању величине гريدне ћелије треба имати на уму, са једне стране, да је број гريدних ћелија по x и y оси, прихватљив за SHETRAN, ограничен, а са друге стране да ће све

карактеристике (геолошке, педолошке и вегетационе) на датој површини гريدне ћелије бити униформне. Тако на пример, доминантна педолошка карактеристика у гريدној ћелији величине 500 x 500 m биће додељена целој гريدној ћелији. Стога треба наћи компромис у додељивању одговарајуће величине гريدних ћелија узимајући при том у обзир и површину слива.

- Потом следи коришћење функције „Fill Sinks“ за попуњавање вештачких депресија, односно кориговање ДМВ-а, „Flow Direction“ за дефинисање праваца кретања воде низ падину, и „Flow Accumulation“ за одређивање нагомилавања отицаја. Најзад се помоћу функције „Pour point“ дефинише излазни профил слива који би уједно требао да представља најнижу коту слива. Последњи корак у просторној анализи ДМВ-а је дефинисање слива функцијом „Watershed“ коришћењем фајлова добијених коришћењем функција „Flow Accumulation“ и „Pour point“.
- Конверзијом добијеног фајла из растер формата у ASCII фајл, добија се текстуални фајл у коме се може прочитати величина гريدне ћелије и број гريدних ћелија по колонама и редовима (Слика 3.6. и 3.7.).

Слика 3.6. Заглавље у DEM ASCII датотеци за слив Топчидерске реке

ncols	25
nrows	42
xllcorner	7453447
yllcorner	4936103
cellsize	500
NODATA_value	-9999

Слика 3.7. Заглавље у DEM ASCII датотеци за слив Топлице

ncols	43
nrows	40
xllcorner	7485237
yllcorner	4777556
cellsize	500
NODATA_value	-9999

Обрада других података у ArcGIS-у подразумева:

- Геореференцирање геолошких карата, топографских карата, педолошких карата и карата начина коришћења, делинеација слива односно дефинисање границе слива и дефинисање речне мреже.
- Дигитализација геолошких, педолошких и карата начина коришћења у форми полигона различитих геолошких формација, односно врста земљишта и начина коришћења.
- Конвертовање векторских приказа ових података у растерски приказ при чему ће величина GRID-них ћелија за све три врсте података бити униформна са величином GRID-них ћелија DEM-а. Коначно, конверзија растерских приказа података у ASCII фајлове, потребне за програмски пакет SHETRAN.

### **3.5. Концепт хидролошког модела отицаја у сливу - структура и теоријске основе**

Хидролошки модел генезе отицаја у сливу, разрађен у овом раду помоћу програмског пакета SHETRAN (верзија 4.4.1) одликује се модуларном структуром. Хидролошка компонента SHETRAN-а подразумева четири основна модула између којих постоји међусобна комуникација у процесу прорачуна отицаја и који представљају различите процесе:

1. Контролни модул (у SHETRAN програму под ознаком FRD)
2. Модул евапотранспирације и интерцепције (у SHETRAN програму под ознаком ETD)
3. Модул површинског отицаја и отицаја кроз хидрографску мрежу (у SHETRAN програму под ознаком OCD)
4. Модул отицаја у засићеној и незасићеној средини (у SHETRAN програму под ознаком VSD).

Сваки модул је заснован на адекватним теоријским поставкама које су у наставку представљене и углавном преузете из необјављених упутстава аутора програмског пакета SHETRAN са Универзитета у Њукаслу, Одсек за грађевинарство и геонауке (2013).

Програм користи улазне (input) и излазне (output) датотеке за успостављање и контролисање симулације, и за меморисање резултата симулације. У контролној датотеци „rundata” пописани су сви модули и датотеке чији се подаци користе за симулације.

### **3.5.1. Контролни модул**

Контролни или оквирни модул има значајну улогу у структури модела с обзиром да обезбеђује потпуну контролу над симулацијама. У контролном модулу смештена је GRIDNA матрица слива чији су основни елементи:

- GRIDNE ћелије, које представљају основне рачунске елементе и хомогене области униформних карактеристика слива у моделираној области, и
- линијски елементи, који представљају речну мрежу у матрици (Слика 8.), а смештени су дуж ивица GRIDNI елемената, при чему је дужина једног појединачног линка као дела водотока идентична дужини ивице GRIDNA елемента, а дубине и ширине речног корита се израчунавају аутоматски у зависности од узводног сливног подручја (Birkinshaw et al., 2010).

GRIDNI елемент за слив Топчидерске реке до профила Раковица и за слив горње Топлице до профила Магово износи 500 m x 500 m. Фактори који су утицали на одређивање величине GRIDNE ћелије били су:

- Реалан приказ различитих параметара
- Поузданост прорачуна
- Ограничен број колона и редова
- Површина и облик слива

Просторном дискретизацијом слива на GRIDNE ћелије установљене величине, добијене су GRIDNE матрице са одређеним бројем редова и колона. Међутим, површина GRIDNE матрице је обично нешто већа или мања од стварне површине



слива (Табела 3.4.), што је неминовно у случају гридног приказа моделираног слива, али и безначајно ако су у питању мале разлике. Тако, у случају слива Топчидерске реке (профил Раковица), површина гридне матрице је умањена за 0.27 %, у односу на стварну површину моделираног слива. У случају слива Топлице (профил Магово) површина гридне матрице је увећана за 0.60 % у односу на стварну површину моделираног слива.

```
:FR34 - COMPUTATIONAL GRID DEFINITION
44 00000000000000000000000000000000
43 00000110000000000000000000000000
42 00000111000000000000000000000000
41 00001111110000000000000000000000
40 00001111110000000000000000000000
39 00011111110000000000000000000000
38 00011111110000000110000000000000
37 00011111111000111110000000000000
36 00011111111111111110000000000000
35 00011111111111111110000000000000
34 00011111111111111110000000000000
33 00111111111111111110000000000000
32 00111111111111111110000000000000
31 00111111111111111111000000000000
30 00011111111111111111000000000000
29 00011111111111111111000000000000
28 00001111111111111111000000000000
27 00001111111111111111100000000000
26 00000111111111111111111000000000
25 00000111111111111111111100000000
24 00001111111111111111111110000000
23 00001111111111111111111111000000
22 00000111111111111111111111000000
21 00000111111111111111111111110000
20 00000111111111111111111111111000
19 00000111111111111111111111111000
18 00000000111111111111111111110000
17 00000000011111111111111111111000
16 00000000011111111111111111111000
15 00000000000111111111111111110000
14 00000000000011111111111111111000
13 00000000000001111111111111111000
12 00000000000000111111111111111000
11 00000000000000011111111111111000
10 00000000000000001111111111111100
9 00000000000000001111111111111110
8 00000000000000001111111111111110
7 00000000000000001111111111111110
6 00000000000000001111111111111000
5 00000000000000001111000000000000
4 00000000000000001110000000000000
3 00000000000000000000000000000000
2 00000000000000000000000000000000
1 00000000000000000000000000000000
```

Слика 3.8. Слив Топчидерске реке у виду гридне матрице (оквирни модул, ред 34)

Табела 3.4. Површине моделираних сливова

Слив	A (km <sup>2</sup> )	Број грид. ћелија	A <sub>грид.матрица</sub> (km <sup>2</sup> )	Разлика (km <sup>2</sup> )	%
Топчидерска река	126.87	506	126.50	-0.37	-0.27
Топлица	173.46	698	174.50	+1.04	+0.60

:FR35a - E-W FLOW CODES (n-s links)	:FR35c - N-S FLOW CODES (e-w links)
44	45
43	44
42	43
41	42
40	41
39	40
38	39
37	38
36	37
35	36
34	35
33	34
32	33
31	32
30	31
29	30
28	29
27	28
26	27
25	26
24	25
23	24
22	23
21	22
20	21
19	20
18	19
17	18
16	17
15	16
14	15
13	14
12	13
11	12
10	11
9	10
8	9
7	8
6	7
5	6
4	5
3	4
2	3
1	2

Слика 3.9. Речна мрежа Топчидерске реке у оквирном модулу, ред 35a и 35c

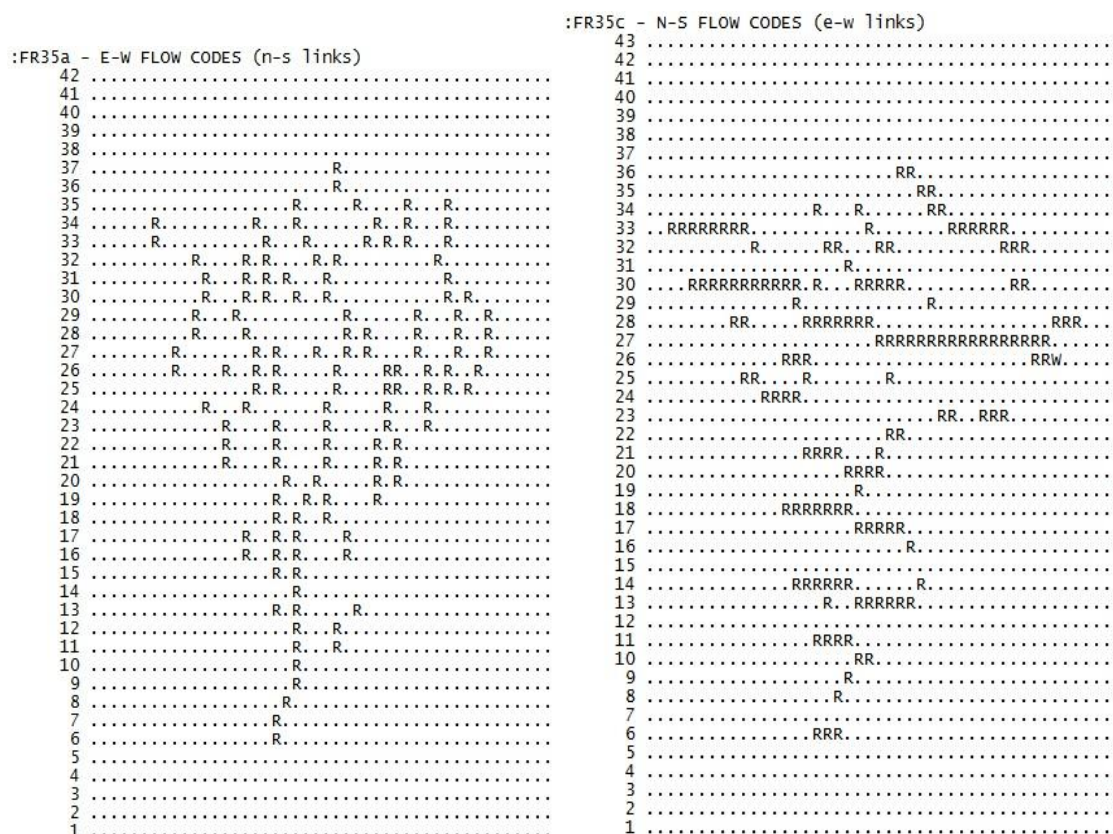
Могуће су нехомогености у оквиру дефинисаних гридних елемената, које се занемарују пошто се претпоставља да не могу значајније утицати на коначне прорачуне (Ђukić, 2010). Слика 3.8. и 3.10. дају приказ гридне матрице у којој су

сви елементи слива Топчидерске реке и Топлице означени кодом 1, а елементи матрице изван слива кодом 0, чиме је дефинисана моделирана област.

[illegible]

Слика 3.10. Слив Топлице у виду гريدне матрице (контolni модул, ред 34)

Сваком елементу грида и линијском елементу (Слика 3.9. и 3.11.) додељен је одређени број, односно код. Везе између елемената су успостављене што омогућава рачунање за цео слив. Када се установи одређена временска резолуција регистрованих података, у овом раду реч је о часовним вредностима регистрованих кишних падавина и протицаја воде, сваки модул користиће исту временску резолуцију моделираних података.



Слика 3.11. Речна мрежа у сливу Топлице у оквирном модулу, ред 35a и 35c

### 3.5.2. Модул интерцепције и евапотранспирације

Модул интерцепције и евапотранспирације укључује потенцијалну евапотранспирацију са вегетације, земљишта и слободних водених површина, евапорацију са наквашене вегетације, голети, транспирацију биљака, интерцептивни капацитет, удео воде који биљка узима из земљишта у сфери кореновог система, дренажање са вегетације, количину воде коју коренов систем узима из земљишта, нето падавине које доспевају на тло.

Израчунавање интерцепције је базирано на моделу Rutter-a (1971.):

$$\frac{\partial C}{\partial t} = P - ke^{b(C-s)} \quad (16)$$

$C$  – висина слоја воде на вегетацији

$t$  – време

$P$  – део падавина који се задржава на лишћу вегетације

$k, b$ ; односно  $Rk, Rb$  – дренажни параметри вегетације



$e$  – ниво потенцијалне евапорације

$S$  - капацитет интерцепције за одређену биљну врсту

Када је висина слоја воде на вегетацији једнака или премашује интерцептивни капацитет биљке, усваја се да почиње процес испаравања воде са биљке (Đukić & Mihailović, 2012d). Дренажни параметар  $k$ , представља брзину дренажања воде са вегетације засићене водом, док дренажни параметар  $b$ , представља степен смањења брзине којом вода отиче током времена у зависности од количине задржане воде на вегетацији (2013).

За израчунавање потенцијалне евапотранспирације, која представља теоријски максимално могућу евапотранспирацију, користи се једначина Penman-а (1948), која се заснива на комбинацији фактора енергетског и аеродинамичког биланса:

$$E_p = \frac{R_n \Delta - \frac{\rho c_p \delta e}{r_a}}{\lambda(\Delta + \gamma)} \quad (17)$$

при чему је:

$E_p$  - потенцијална евапотранспирација

$R_n$  - нето радијација

$\Delta$  - градијент криве притиска водене паре при засићењу

$\rho$  - густина ваздуха

$c_p$  - специфична топлота ваздуха при константном притиску

$\delta e$  - дефицит напона водене паре

$r_a$  - аеродинамички отпор

$\lambda$  - латентна топлота испаравања

$\gamma$  - психометријска константа

Према овој једначини величина потенцијалне евапотранспирације је у функцији метеоролошких параметара и енергетских и аеродинамичких параметара земљишта и вегетације.

За квантификовање параметра стварне евапотранспирације, која представља евапотранспирацију која се реално оствари у реалним условима, користи се једначина Penman-Monteith (1965):

$$E_a = \frac{R_n \Delta - \frac{\rho c_p \delta e}{r_a}}{\lambda \left[ \Delta + \gamma \left( 1 + \frac{r_c}{r_a} \right) \right]} \quad (18)$$

где је  $E_a$  - стварна евапотранспирација,

$r_c$  – површински отпор вегетације.

Monteith је модификовао првобитну једначину Penman-а, умањујући идеалне услове и уводећи фактор површинског отпора вегетације који објашњава физиолошки отпор биљке који утиче на смањење укупне евапотранспирације.

### 3.5.3. Модул површинског отицаја и отицаја кроз хидрографску мрежу

Овај модул квантификује висину отицаја и кретање воде по површини терена и кроз речну мрежу. Обе фазе, површинско кретање воде и кретање воде кроз речну мрежу, у SHETRAN–у базирани су на концепту дифузионог таласа употребом једначина Saint Venant неустаљеног течења. Кретање воде између два елемента у гريدној мрежи (гريد-гريد, гريد-линија водотока) може се приказати следећом једначином континуитета:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^4 Q_i + Q_R \quad (19)$$

где је:

$h$  – висина отицаја на површини терена

$t$  – време

$A$  – површина елемента гريدне мреже

$Q_i$  – вертикални доток воде

$Q_R$  – хоризонтални доток воде

За сваки правац кретања воде у декартовом координатном систему ( $x$ ,  $y$ ) и за линијско кретање воде кроз хидрографску мрежу (I), у моделу се користе следеће једначине изведене из једначине одржања количине кретања:

$$S_{fx} + \frac{\partial(z_g+h)}{\partial x} = 0 \text{ (за површински отицај, x правац)} \quad (20)$$

$$S_{fy} + \frac{\partial(z_g+h)}{\partial y} = 0 \text{ (за површински отицај, y правац)} \quad (21)$$

$$S_{fl} + \frac{\partial(z_g+h)}{\partial l} = 0 \text{ (за кретање воде кроз речну мрежу, било x или y правац)} \quad (22)$$

где је:

$S_{fx}$ ,  $S_{fy}$ ,  $S_{fl}$  – нагиби линије енергије услед трења (Henderson, 1966) за x и y правац кретања воде по површини терена и кроз речну мрежу

$z_g$  – надморска висина

Узимајући у обзир фактор отпора кретању воде по површини терена, односно Манингов закон (Henderson, 1966), за нагибе линије енергије услед трења имамо следеће једначине:

$$S_{fx} = \frac{u_x^2}{K_x^2 h^{4/3}} \text{ (за површински отицај, x правац)} \quad (23)$$

$$S_{fy} = \frac{u_y^2}{K_y^2 h^{4/3}} \text{ (за површински отицај, y правац)} \quad (24)$$

$$S_{fl} = \frac{u_l^2}{K_l^2 h^{4/3}} \text{ (за кретање воде кроз речну мрежу, било x или y правац)} \quad (25)$$

где је:

$S_{fx}$ ,  $S_{fy}$ ,  $S_{fl}$  - нагиби линије енергије услед трења

$K_x$ ,  $K_y$ ,  $K_l$  - Strickler коефицијент, инверзан Манинговом коефицијенту

$u_1$ ,  $u_2$ ,  $u_3$  – брзина кретања воде

Увођењем фактора нагиба линије енергије услед трења важе следеће релације:

$$q_x = uh = R_x \left(-\frac{\delta Z}{\delta x}\right)^{1/2} h^{5/3} \quad (26)$$

$$q_y = uh = R_y \left(-\frac{\delta Z}{\delta y}\right)^{1/2} h^{5/3} \quad (27)$$

$$q_l = uh = R_l \left(-\frac{\delta Z}{\delta l}\right)^{1/2} h^{5/3} \quad (28)$$

$q_x$ ,  $q_y$ ,  $q_l$  – отицаји по површини терена у правцу x или y координата, односно отицај у речном кориту у правцу x или y координата

Стриклеров коефицијент у овим једначинама је веома важан параметар који одређује кретањр воде по површини терена. Стриклеров коефицијент указује на величину рапавости површине терена, односно отпора који се јавља при течењу воде по површини терена. Овај параметар је инверзан Манинговом коефицијенту рапавости, а његова величина зависи од врсте вегетације. То значи, на пример, да ако је површина терена под оскудном вегетацијом, Стриклеров коефицијент површинског отицаја је већи, што се одражава на величину рачунског отицаја и обрнуто. Слично томе, када је рапавост дна речног корита мања, Стриклеров коефицијент за реке већи, отицај је бржи (2013). Пошто је отпор течења воде мањи у речним коритима него по површини терена, онда су и вредности Стриклеровог коефицијента за реке нешто мање у односу на Стриклеров коефицијент за површински отицај (2013).

#### 3.5.4. Модул отицаја у засићеној и незасићеној средини

У вертикалном профилу терена може се издвојити незасићена и засићена средина које дели ниво подземне издани где је потенцијал земљишне воде једнак нули. Незасићена зона или зона аерације обухвата зону од површине терена до нивоа подземних вода у којој су поре и пукотине претежно испуњене ваздухом, и повремено воденом паром, капиларним и физички везаном водом и периодично слободном водом (Никић, 2013). У зони засићења или изданској зони, која се од нивоа подземних вода пружа по дубини све до водонепропусних стена у подини, све поре и пукотине су испуњене слободним гравитационим водама.

Једнодимензионално кретање воде у вертикалном правцу које је доминантно у незасићеној средини услед инфилтрације представљено је једначином Richards-a (1931):

$$C(H_k) \frac{\partial H_k}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( k_w \frac{\partial H_k}{\partial z} \right) + \frac{\partial k_w}{\partial z} - S \quad (29)$$

при чему је:

$C(H_k) \frac{\partial H_k}{\partial t}$  – капиларни капацитет

$H_k$  – капиларни потенцијал



$Z$  – вертикална координата

$k_w$  – хидрауличка проводљивост земљишта

$w$  – влажност земљишта

$S$  – потрошња воде на евапотранспирацију

Параметри од којих зависи кретање воде у незасићеној зони су Дарсијев коефицијент филтрације ( $K_f$ ), резидуална влажност земљишта ( $w_r$ ) и влажност засићеног земљишта ( $w_s$ ), и емпиријски параметри Van genuchten- $n$  и Van genuchten- $\alpha$ . Величина ових параметара зависи од врсте, текстуре и порозности земљишта. Више вредности Дарсијевог коефицијента филтрације и емпиријских параметара  $n$  и  $\alpha$  карактеристичне су за земљишта са већим процентом песковите фракције, а ниже за земљишта са већим процентом глиновитих честица (2013). Величина Дарсијевог коефицијента филтрације указује на карактеристику проводљивости и пропусности земљишта за воду која највећим делом зависи од пречника и броја активних пора (Ђоровић, 2001). Резидуална влажност земљишта представља ону количину воде која због њене јаке адсорпције са чврстом фазом не доприноси кретању течне фазе земљишта, док влажност засићеног земљишта представља максималну запреминску влажност земљишта (Ђукић, 2010). Емпиријски параметри  $n$  и  $\alpha$  заједно са претходним параметрима у потпуности описују водно-физичка својства земљишта (Ђукић, 2010; 2013).

Дводимензионално кретање воде у засићеној средини представљено је једначином Boussinesq-a:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{sx} H \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{sy} H \frac{\partial h}{\partial y} \right) + R = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (30)$$

при чему је:

$K_{sx}, K_{sy}$  - Дарсијев коефицијент филтрације дуж  $x$  и  $y$  оса

$H$  – дебљина зоне засићења

$h$  - дубина нивоа подземних вода

$R$  – количина воде која из незасићене средине дотиче у засићену средину и обратно

$S$  – коефицијент специфичне издашности засићене средине

Параметри од којих највише зависи кретање воде у засићеној зони су Дарсијев коефицијент филтрације и коефицијент специфичне издашности стенских маса. Дарсијев коефицијент филтрације има дијапазон вредности од  $10^{-5}$  m на дан у случају чврстих стена вулканског порекла до 10 m на дан у случају јако испуцалих стена, кречњака, флиша и лапораца (2013). Издашност стена представља способност стенских маса које су засићене водом да одају слободну гравитациону воду при снижењу нивоа воде, а специфична издашност представља количину воде која се може добити из 1 m<sup>3</sup> стене (Никић, 2013). И овај параметар зависи од врсте и порозности стена, па је специфична издашност стена најмања код глина, а највећа код шљункова и пескова. Ниво подземних вода, SHETRAN прорачунава за сваки гريدни елемент, односно колону, у зависности од потенцијала земљишне воде, која је у функцији особина земљишта и геолошке основе, нагиба падина у сливу.

### 3.6. Статистичке анализе

Коришћена је проста и вишеструка регресиона метода (у програму Excel, модулу за статистичку анализу података и програму Statgraphics) како би се утврдила зависност максималног протицаја, односно специфичног отицаја од једне варијабле, односно више варијабли. За утврђивање зависности вредности регистрованих и моделираних протицаја коришћена је проста регресиона анализа.

Проста линеарна зависност изражава се изразом:  $y = ax + b$ , при чему су  $a$  и  $b$  – параметри тражене функције,  $x$  – независно променљива и  $y$  – емпиријска вредност зависно променљиве. Степени облик изражава се једначином  $y = a + x^b$ , а експоненцијални  $y = a + e^{bx}$ . Вишеструка линеарна зависност изражава се следећим изразом у зависности од броја уведених варијабли:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_nx_n \text{ (Ранковић, 1996).}$$

Регресиона анализа омогућава израчунавање коефицијента детерминације ( $R^2$ ) и тест статистичке случајности. Коефицијентом детерминације објашњава се учешће укупних варијација вредности зависно променљиве око њихове средње

вредности, а преостали део укупних варијација приписује се факторима чији је утицај укључен у грешку модела (Ранковић, 1996). Интервал вредности овог коефицијента је између 0 и 1, при чему ниже вредности коефицијента указују на утицај оних фактора који нису обухваћени моделом, односно да је модел погрешно постављен. Супротно, више вредности указују на значајност фактора који одређују посматрану појаву. Кориговани коефицијент детерминације ( $R^2_{\text{cor}}$ ) обезбеђује прецизнију оцену поузданости функције. Стандардна грешка представља одступање од оцењене средње вредности, а студентовим  $t$  – тестом одређујемо статистичку значајност израчунате оцене параметра.

Коефицијент корелације ( $R$ ) израчунава се као квадратни корен коефицијента детерминације и представља степен и квалитет повезаности зависно и независно променљиве, у овом случају, вредности моделираних и регистрованих протицаја. Вредности коефицијента  $R$  изнад 0.7 указују на високу повезаност променљивих, док вредности у опсегу 0.4 - 0.7 указују на значајну повезаност варијабли.  $F$ - тест омогућава тестирање значајности коефицијента корелације. Регресионом анализом се обезбеђује и једначина регресије која представља закон везе, тј. омогућава да се за одређене вредности независно променљиве нађе вредност зависно променљиве.

## **4. ИНВЕНТАР БУЈИЧНИХ ПОПЛАВА У СРБИЈИ**

### **4.1. Бујичне поплаве као природне непогоде**

Бујичне поплаве су најчешћи вид природних непогода и катастрофа у Србији (Ristić et al., 2011; Dragičević et al., 2011) које остављају озбиљне последице у социјалној, економској, културној и еколошкој сфери и стога заслужују посебну пажњу са истраживачког аспекта (Rosso et al., 2002; Marchi et al., 2010; Gavrilović et al., 2012; Naulin et al., 2013). Овај хидролошки феномен се у Србији јавља готово сваке године узрокујући значајне материјалне штете пољопривреди и насељима, индустријској, стамбеној и саобраћајној инфраструктури. Поједини догађаји бујичних поплава током историје били су фатални по људске животе и локалну економију и то баш у оним регионима Србије који су најнеразвијенији.

Посебан еколошки ефекат појаве бујичних поплава односи се на засипање водних акумулација ерозионим наносом чиме се њихова корисна запремина смањује, а квалитет воде погоршава. Деградација земљишта, механичко и хемијско загађење вода су главни негативни еколошки ефекти готово синхроних процеса ерозије и појаве бујичних поплава (Kostadinov et al., 1992; Đukić & Petković, 2009).

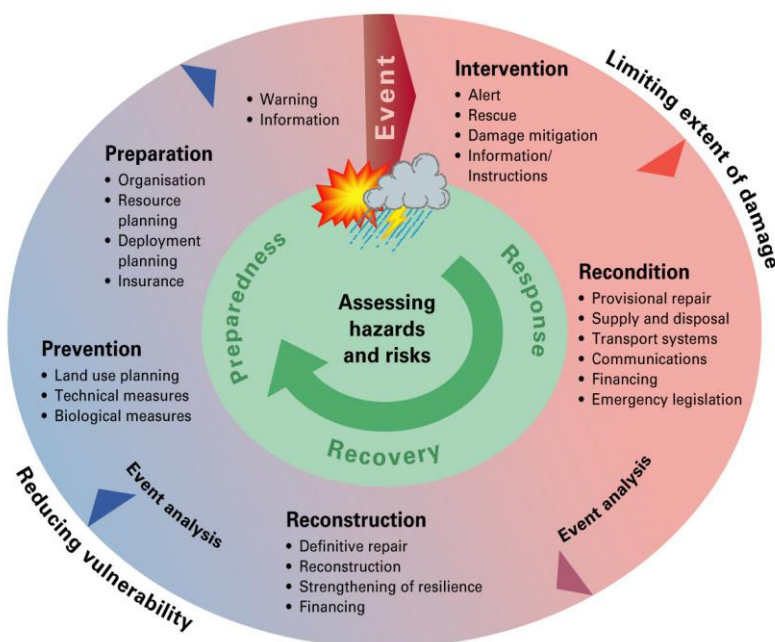
Иако су бујичне поплаве природни феномен кога није могуће спречити, могуће је у мањој или већој мери ублажити његове последице. Ризик од поплава у Европској унији дефинисан је као комбинација вероватноће појаве поплаве и потенцијалних негативних ефеката и последица по људске животе и здравље, животну средину, културно наслеђе и економске делатности. Управљање ризицима од бујичних поплава представља један циклус који у свом ланцу обухвата фазе превенције и заштите, припреме, одговора и опоравка у које су интегрисане краткорочне и дугорочне мере и стратегије (Plate, 2002; Commission of the European Communities, 2004).

Током последњих деценија у свету значајан удео имала су истраживања из области природних непогода и катастрофа и управљања ризицима од истих.

Велики број хидролога у Европи бавио се проблемом ризика од поплава, и то у правцу развоја методологија краткорочних и дугорочних предвиђања и прогноза, система за упозорење, развоја и креирања структурних мера, као и метода анализе хидролошких података и модела хидролошких система (Creutin et al., 2013). Стручњаци из области друштвених наука су им се придружили и то пре свега у сегменту социјалне и економске рањивости, процене и изложености ризику од поплава, анализе материјалних штета и људских губитака (Barredo, 2009). Интензивно истраживање феномена бујичних поплава као подршка управљању ризицима од бујичних поплава и имплементацији Директиве о поплавама у земљама Европске Уније нарочито је интензивирано почетком овог века са пројектима који окупљају међународне експертизу и финансирају се из ЕУ буџета (на пример: FLOODSITE - Integrated flood risk analysis and management methodologies, FLASH - Short term forecasting of flash floods, HYDRATE - Hydrometeorological data resources and technologies for effective flash flood forecasting, IMPRINTS - Preparedness and risk management for flash floods and debris flows).

У Србији, међутим, тек у последњих неколико година постоји такав експлицитан приступ у управљању ризицима од бујичних поплава као природних непогода (пројекти - „РИМАДИМА“, Шумарски факултет у Београду; „Истраживање климатских промена и њиховог утицаја на животну средину - праћење утицаја, адаптација и ублажавање“, подпројекат бр. 9 „Учесталост бујичних поплава, деградација земљишта и вода“, Шумарски факултет у Београду; „Елементарне непогоде као фактор трансформације простора и планских докумената у Србији и Словенији“, Географски институт „Јован Цвијић“ у Београду). Међутим, кроз пројекте научних опсервација бујичних феномена у брдско-планинским сливовима и уређења бујичних сливова у пракси (које је као организована делатност започето почетком прошлог века), било је готово континуираног доприноса управљању ризицима од бујичних поплава а у зависности од става надлежних органа према овом проблему који је кроз време врло променљив. У последњим деценијама примећује се немарни однос надлежних органа када је реч

о уређењу бујичних сливова које представља један од елеманата одрживог развоја угрожених локалних самоуправа.



Слика 4.1. Циклус интегрисаног управљања ризицима од природних непогода у Швајцарској. Извор: Hess & Schmid, 2012.

Пример организованог и интегрисаног управљања ризицима од природних непогода и катастрофа, који се састоји од фазе превенције, одговора и опоравка са својим дефинисаним мерама, можемо наћи у Швајцарској (Слика 4.1.). Сви кораци у овом циклусу усмерени су ка два циља: смањење вулнерабилности и смањење штета. Овај пример би требало да постане модел управљања ризицима од природних непогода и, у контексту овог рада, управљања ризицима од бујичних поплава у Србији.

Управљање ризицима од бујичних поплава захтева интердисциплинарно знање и тиме комуникацију више организација различитих профила. У адекватном приступу управљања ризицима од бујичних поплава у Србији, потребна је координација научно-истраживачких и оперативних институција (Слика 4.2.) чији је значај у овом процесу подједнако важан.



Слика 4.2. Институционални оквир за управљање ризицима од бујичних поплава у Србији

У развијеним земљама Европске уније осигуравајуће компаније су важна карика у управљању ризицима од природних непогода и то у погледу давања финансијских потпора осигураницима када дође до штета насталих услед природних непогода. Тако су се својим пословањем у Европској унији издвојиле Munich Re и Swiss Re. Међутим, када у земљама у развоју дође до катастрофалних догађаја, од државе се очекује да издвоји средства из буџета за пружање помоћи и санирање материјалних штета. У Србији бујичне поплаве погађају углавном најсиромашније и најнеразвијеније крајеве чије становништво нема развијену свест о осигурању своје имовине од природних непогода а ни материјалних могућности за то. Стога су у Србији правна лица (индустрије, банке, комерцијалне компаније) најчешћи клијенти осигуравајућих кућа у погледу осигурања од ризика од природних непогода, и конкретно поплава, које се налази на најнижој лествици интересовања њихове клијентеле.

Важно је напоменути да се осигурање од поплава у Србији у осигуравајућим компанијама углавном нуди као могућност за осигурање допунских ризика. Уколико је ризик од неке природне непогоде већи, утолико осигуравајућа друштва нуде вишу премију осигурања, а уколико је ризик изузетан, онда се чак и

ограђују од осигуравања таквих подручја. Међутим, у савременом пословању осигуравајућих кућа постоје случајеви када се нуди премија осигурања уз услов примене мера превенције и минимизације штета (Vujić, 2009).

При Министарству унутрашњих послова Републике Србије постоји Сектор за ванредне ситуације чији је задатак да развија своје ресурсе у заштити, спасавању и реаговању у ванредним ситуацијама. Овај сектор запошљава 3.000 оперативаца у оквиру ватрогасно-спасилачких јединица и специјалистичких тимова који реагују у случају пожара, поплава, земљотреса, клизишта и хемијских акцидената. Сектор за ванредне ситуације у свом саставу има Управу за управљање ризиком која се састоји од: Републичког центра за обавештавање (112), Одељења за осматрање, обавештавање, узбуњивање и телекомуникације, Одељења за управљање ризиком од технолошких удеса и терористичких напада, Одељења за управљање програмима и пројектима и Одељења противградне заштите.

Аутори Zlatić et al. (2008) наводе значај и улогу медија и анкетирања, односно директне комуникације са локалним становништвом. Јавне консултације и расправе су обавезан део савременог циклуса управљања природним непогодама. Јавне дискусије на тему доношења одлука о мерама адаптације и ублажавања последица од штетних догађаја бујичних поплава побољшавају комуникацију између политичара, експерата и локалног угроженог становништва. Анкете или изложбе на тему бујичних поплава у неким општинама у сливу Јужне Мораве, које су у нашој земљи највише угрожене од овог типа хидролошких непогода, представљају добре начине за приближавање локалног становништва овом проблему и њихово укључивање у процес управљања ризицима. Илустрација ризика од бујичних поплава путем карата, приручника и брошура на интернет порталима такође може заинтересовати део јавности за допринос управљању ризицима.

У управљању ризицима од бујичних поплава важну улогу, нарочито у погледу адаптације и ублажавања последица, има прогнозирање бујичних поплава, које



подразумева прогнозу бујичних поплава у простору, прогнозу бујичних поплава у времену (краткорочну и дугорочну) и прогнозу основних карактеристика бујичних поплава (Kostadinov, 2008). У прогнози бујичних поплава потребно је познавати не само хидрометеоролошке, већ и геолошко-геоморфолошке, педолошке и остале услове у сливу који стварају повољно окружење за појаву бујичних поплава. Прогноза бујичних поплава има велики значај за привреду и локално становништво, међутим, захтева знатна средства за истраживање и опрему, па је код нас још увек недовољно организована.

С обзиром да су бујичне поплаве природне непогоде врло брзе динамике, комбинација слабије перцепције ризика локалног становништва и веома нагла појава бујичних поплава умањују ефикасност контроле догађаја (Naulin et al., 2013). Међутим, перцепција ризика од поплава се мењала кроз време а интензивнија је у последњих неколико деценија нарочито након катастрофалних поплава са већим бројем људских жртава. У јачању перцепције ризика од поплава велику улогу имају медији преношењем вести о оваквим догађајима. Може се са сигурношћу рећи да је на повећану перцепцију ризика утицало и ширење антропогених структура у плавним зонама и самим тим њихово излагање ризику од поплава. Катастрофалне штете од бујичних поплава у најсиромашнијим и најразвијенијим регионима нарочито долазе до изражаја. Са друге стране, поплаве које се догађају у малим ненасељеним сливовима остају нерегистроване и незабележене. Стога, ако се савремени трендови развоја друштва упореде са ранијим фазама, долазимо до закључка да је перцепција ризика од бујичних поплава релативно социјална категорија.

Препознавањем значаја проблема бујичних поплава у Моравском сливу, ова проблематика треба да буде третирана као важан сегмент у интегрисаном управљању речним сливом Велике Мораве у складу са Директивом о водама 2000/60/ЕК (Borisavljević, 2011; Борисављевић & Костадинов, 2012). Пракса најбољег и интегрисаног управљања бујичним сливовима огледа се у разradi и примени специфичних комбинација биотехничких, техничких и административних мера, као и концепта „природних резервоара“ (Ristić et al.,

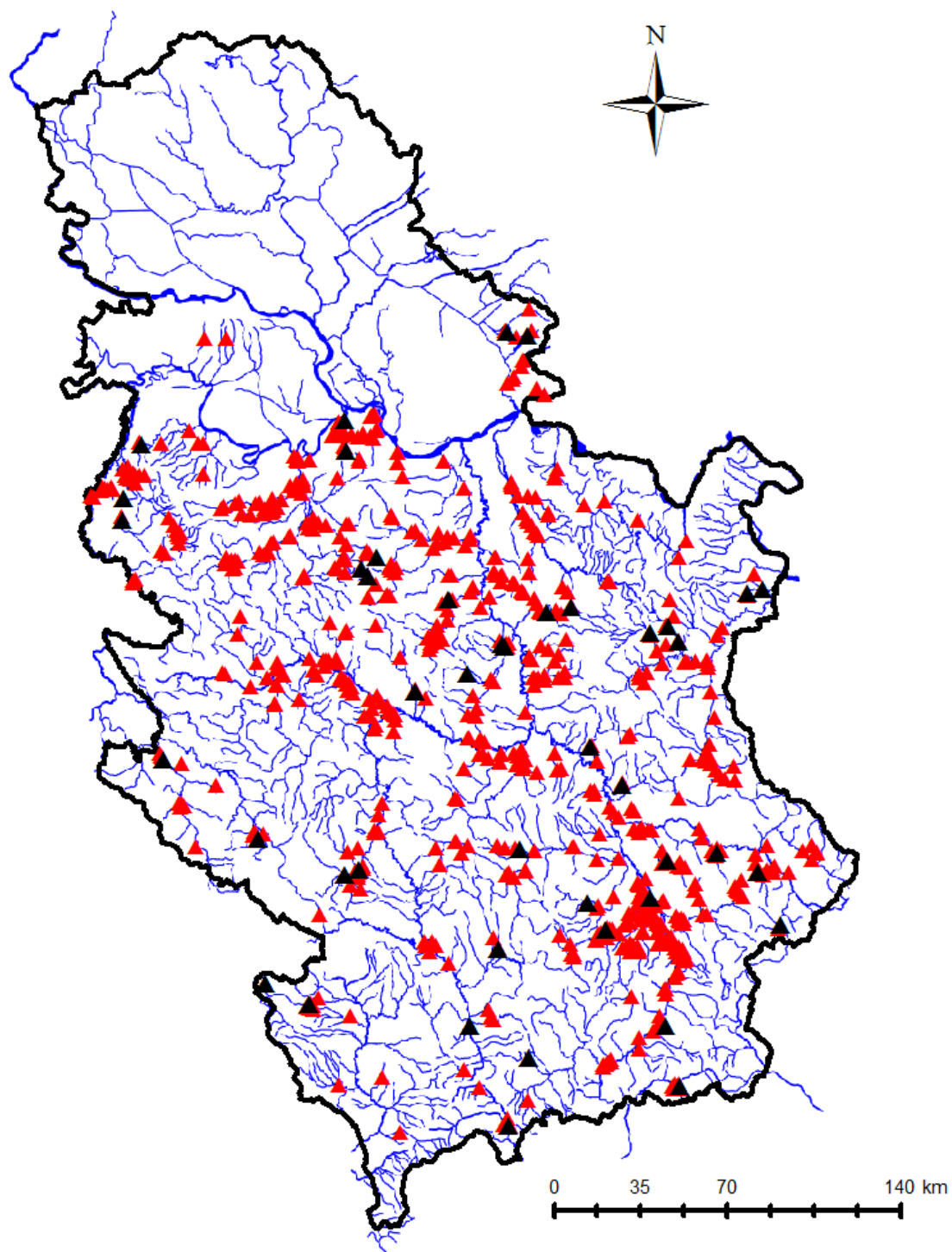
2011; Костадинов & Борисављевић, 2012; Борисављевић & Костадинов, 2012). Према ауторима Ristić et al. (2011) рестаурација сливова, до њиховог оптималног хидролошког стања, би смањила поплавне протицај и побољшала обнављање резерви подземних вода, уз повећање малог и средњег протицаја на изворима и потоцима.

#### 4.2. Просторна дистрибуција догађаја бујичних поплава

Већина ових поплава догодило се јужно од Саве и Дунава, док су на територији Војводине, забележени догађаји поплава бујичних токова на Вршачким брдима и Фрушкој гори. Као што се претпостављало, у Инвентару је забележен највећи број догађаја бујичних поплава у сливу Јужне Мораве (195), а потом у сливовима Западне Мораве (157) и Велике Мораве (127) (Табела 4.1.).

Табела 4.1. Дистрибуција регистрованих догађаја бујичних поплава и број људских жртава по сливовима

Бр.	Слинови	Број дог. бујичних поплава	Број жртава
1.	Јужна Морава	195	61
2.	Западна Морава	157	11
3.	Велика Морава	127	12
4.	Колубара	121	1
5.	Дрина	62	7
6.	Тимок	40	>21
7.	Топчидерска река	34	11
8.	Дунав	32	>1
9.	Млава	24	3
10.	Бели Дрим	20	>1
11.	Сава	14	>1
12.	Лепенац	9	1
13.	Пчиња	7	2
14.	Пек	6	0
Укупно		848	>133



Слика 4.3. Просторни приказ најдеструктивнијих забележених догађаја бујичних поплава у Србији у периоду 1915.-2013. (▲ - људске жртве & материјалне штете, ▲ - материјалне штете) (Petrović et al., 2014)

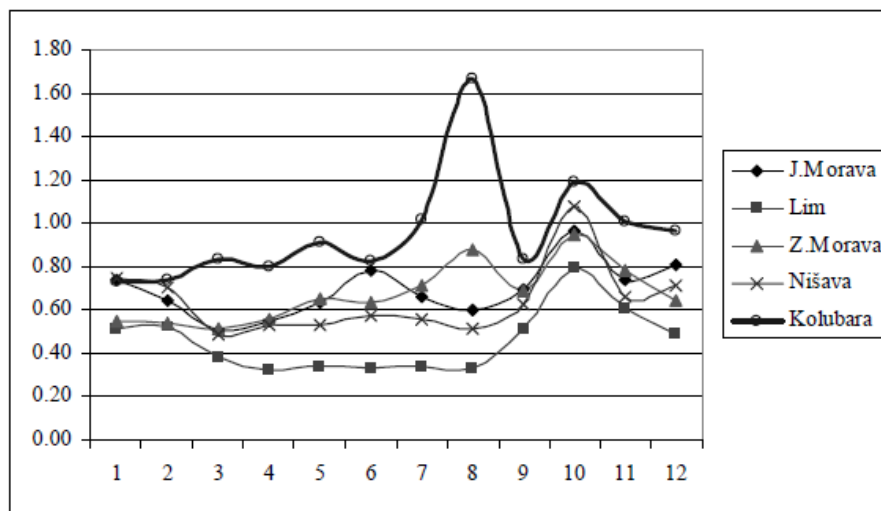
Осим физичко-географских предиспозиција у сливовима притока ових великих река, овај налаз је разумљив и са просторног аспекта, ако се узме у обзир укупна површина Моравског слива ( $37.320 \text{ km}^2$ ; ВОС, 2001). Треба напоменути да се овде бележи највећи број оних историјских и катастрофалних поплава.

Наглашени феномен бујичних поплава у сливу Јужне Мораве објашњава се најинтензивнијим процесима ерозије и, као последица тога, израженим дисбалансом малих, средњих и великих вода. Сплет природних услова али и експесивна експлоатација шума у Грделичкој клисури и Врањској котлини резултирале су у екстремно интензивним процесима ерозије (Zlatić et al., 2012) и честој појави катастрофалних бујичних поплава које су за последицу имале значајне материјалне штете али и људске губитке.

Две најзначајније међународне саобраћајнице које пролазе кроз Србију, железница и аутопут Београд-Скопље-Атина, пролазе и кроз Грделичку клисуру где су прекиди саобраћаја због бујичних поплава, одрона и клизишта трајали и до 15 дана. Грделичка клисура у долини Јужне Мораве је посебно значајна због својих 137 бујичних токова који су регистровани као директне притоке Јужне Мораве на релативно краткој дистанци од 28 km од места Грделица до Владчиног Хана. Грделичка клисура потом прелази у Врањску котлину од Владчиног Хана до границе са Македонијом где је регистровано 80 бујичних токова, директних притока Јужне Мораве (Kostadinov et al., 2012).

Међутим, значајан број догађаја бујичних поплава бележе сливови реке Колубаре и Топчидерске реке, који су издвојени од других притока у сливу Саве, с обзиром на значајност феномена бујичних поплава у овим сливовима (Табела 4.). На четвртном месту по броју бујичних поплава (121) налази се слив реке Колубаре ( $A = 3.641 \text{ km}^2$ ) која има знатно мању површину у односу на слив Јужне Мораве ( $A = 15.390 \text{ km}^2$ ; ВОС, 2001) или слив Западне Мораве ( $A = 14.721 \text{ km}^2$ ; ВОС, 2001). Према слици 4.4., може се закључити да Колубара има највећи коефицијент варијације месечних протицаја, као и веома неуравнотежен однос малих и великих вода, 1:1280 на станици Бели брод (Dragićević et al., 2013). С обзиром на

површину слива, забележен је значајан број догађаја бујичних поплава (34) у сливу Топчидерске реке ( $A = 146.5 \text{ km}^2$ ). Забележене су и значајне бујичне поплаве притока великих река Дрине, Саве и Дунава (нпр. Болечице, Грочице, Поречке реке). У сливу Пчиње и Лепенца регистровано је најмање догађаја, што у овом случају може бити последица ретке насељености и граничног положаја сливова.



Слика 4.4. Коефицијент варијације месечних протицаја (1946-1991)

Извор: Dragičević et al., 2007

*„Свако ко живи близу река треба да разуме учесталост са којом се поплаве појављују.“ Abbott, 2008*

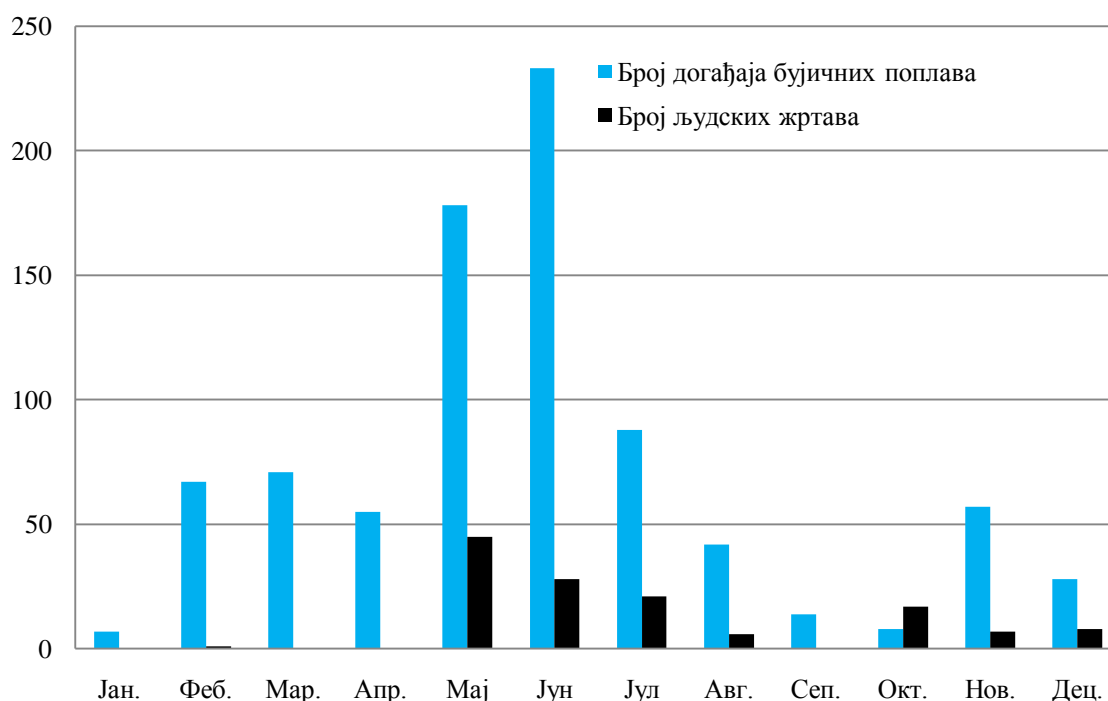
### 4.3. Учесталост догађаја бујичних поплава

Учесталост и интензитет појава бујичних поплава варира и временски и просторно. Доминантна методологија за процену учесталости поплава ослања се на теоријску статистичку дистрибуцију доступних мерних података о максималним протицајима (Bewen, 2001). Међутим, овај метод има неколико ограничења и омогућава једино процену учесталости различитих величина догађаја максималних протицаја.

За процену учесталости бујичних поплава у хидролошки неизученим сливовима од великог значаја је истраживање учесталости киша јаког интензитета. Тако је

Gavrilović (1975) извео анализу просечних годишњих бујичних киша за период 1928. – 1968. године, и то за 312 кишомernih станица – 100 на подручју Војводине, 188 на подручју Централне Србије и 24 на подручју Косова. Дошло се до закључка да је највећа просечна висина бујичне кише у Србији за испитивани период у току једне просечне године - 45 mm, и то на подручју Београда и Обреновца, затим око Кучева, Светозарева, Чачка и Нове Вароши. Највећи број бујичних киша јавља се у Призрену, на подручју Копаоника, Прибоја, Љубовије, Пирота и Текије.

Према подацима бившег Одсека за уређење бујица при Министарству шума и руда Краљевине Југославије, појаве јаких бујичних поплава Велике, Западне и Јужне Мораве, Млаве, Тимока и Дрине дешавале су се просечно сваке треће године и то: 1921., 1924., 1929., 1932., 1937. и 1940. године. Након Другог светског рата, велики и штетни надоласци бујичних токова скоро у свим нашим крајевима јавили су се 1947., 1948., 1951., 1953., 1957., 1961., 1963., 1965., 1967., 1969., 1970. и 1972. године (Gavrilović, 1975).



Слика 4.5. Дистрибуција регистрованих догађаја бујичних поплава и људских жртава по месецима у Србији

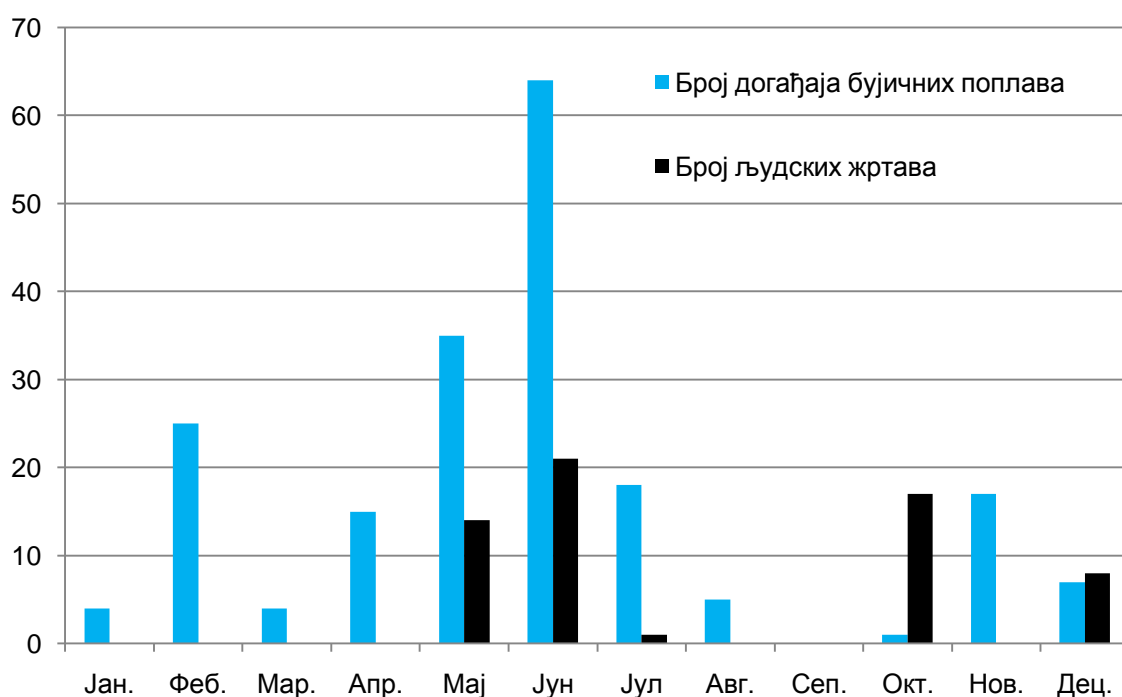
У Инвентару бујичних поплава су забележени најдеструктивнији догађаји осамдесетих година прошлог века у сливовима Љештарске долине (1982.), Сејаничке реке (1983.) и Власине (1988.). Смртоносне бујичне поплаве у скоријем периоду догодиле су на Топчидерској реци, 1994. године (1 људска жртва), Топчидерској реци, Лугомиру, Грузу, Јасеници и Лепеници, 1999. године (18 људских жртава), Јужној Морави и Ресави, 2002. године (2), Јабланици, 2009. године (1), Тимоку и Пчињи, 2010 (2).

Месечна дистрибуција регистрованих бујичних поплава (Слика 4.5.) указује да се највећи број бујичних поплава дешава у јуну, чак 233 забележених бујичних поплава што чини 27.5% од укупног броја, и мају са 178 догађаја, односно 21%. Потом следе јул (88, односно 10.4%), март (71, тј. 8.4%) и фебруар (67, тј. 7.9%). Добијене податке поткрепљују следећа објашњења:

- Примарни максимум појаве бујичних поплава у летњој половини године, јуну и мају, може се објаснити плувиометријским режимом у брдско-планинским деловима Србије који се одликује најинтензивнијим и најобилнијим падавинама у овим месецима. Међутим, јаке бујичне поплаве догађале су се и у јулу и августу, и то излучивањем велике количине кишних падавина након дугих сушних периода. У условима дугих суша структура земљишта је поремећена па оно постаје веома подложно ерозији, а снагом максималних протицаја транспортује се велика количина наноса са учешћем вученог наноса и до 60%. Примери су бујична поплава Калиманске реке, 04.08.1929. године; Љештарске долине, 25.07.1982. године; Сејаничке реке, 02.07.1983. године; Топчидерске реке 10.07.1999. године (документациона основа Инвентара).
- Секундарни максимум у зимским месецима, марту и фебруару. Изазван је не само јаким кишним падавинама већ и наглим отапањем снежног покривача (Стефановић et al, 2010).

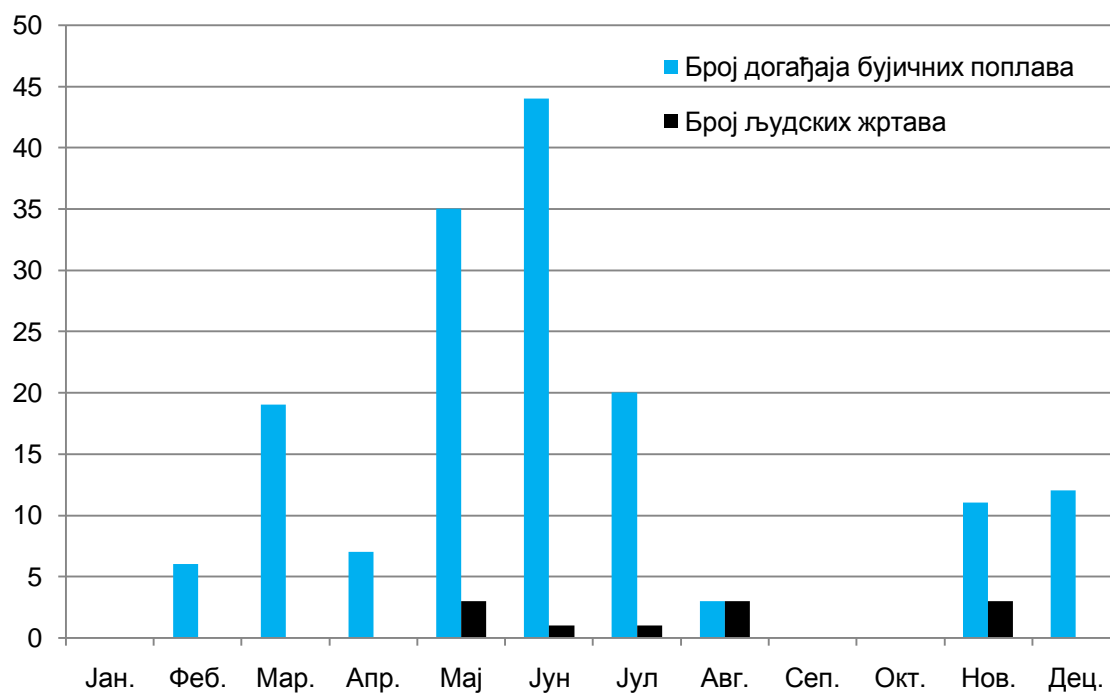
- Ови резултати кореспондирају са ранијим анализама учесталости максималних протицаја у бујичним сливовима у Србији. Према Ристићу (2009), анализом унутаргодишње расподеле максималних протицаја, утврђени су критични периоди са израженом фреквенцијом максималних протицаја ( $Q_{\max}$ ) преко одређеног прага ( $Q_{\max sr}$ ), и то су: примарни, крајем пролећа, у мају и првој половини јуна, и секундарни, крајем зиме, у фебруару и првој половини марта.

С обзиром да сливови Јужне Мораве и Западне Мораве предњаче у броју регистрованих догађаја бујичних поплава, дата је дистрибуција догађаја и броја људских жртава по месецима (Слика 4.6. и 4.7.) на основу које се такође може препознати примарни максимум у јуну и мају (и потом у јулу у случају Западне Мораве), а секундарни у фебруару.

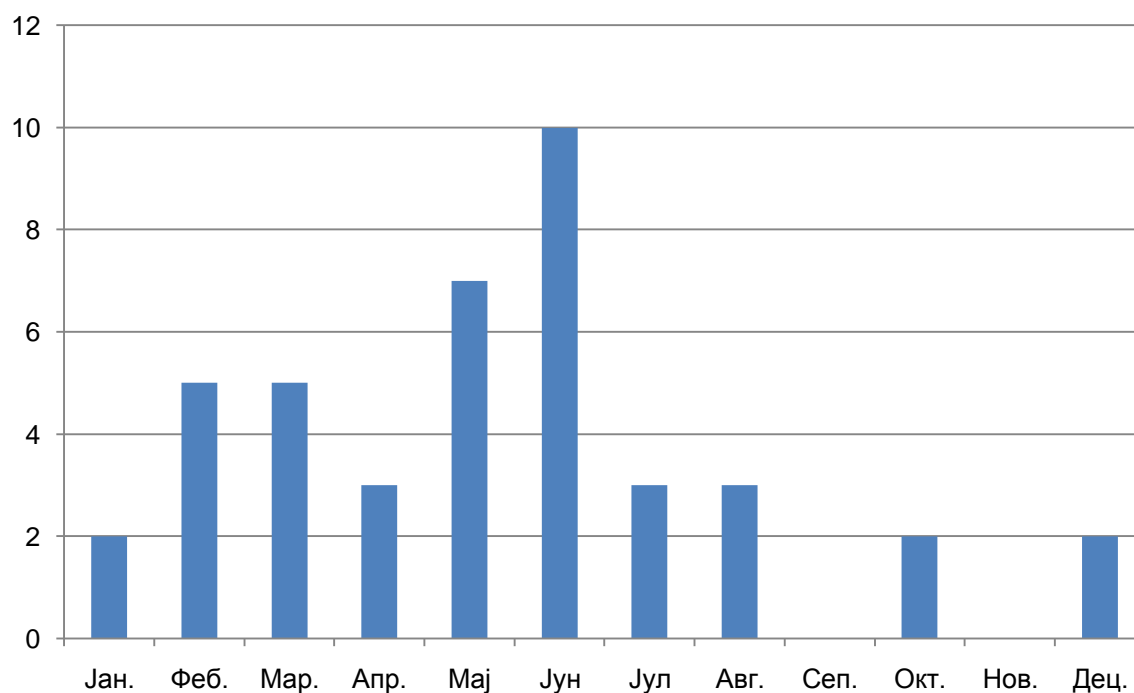


Слика 4.6. Дистрибуција регистрованих догађаја бујичних поплава и људских жртава по месецима у сливу Јужне Мораве





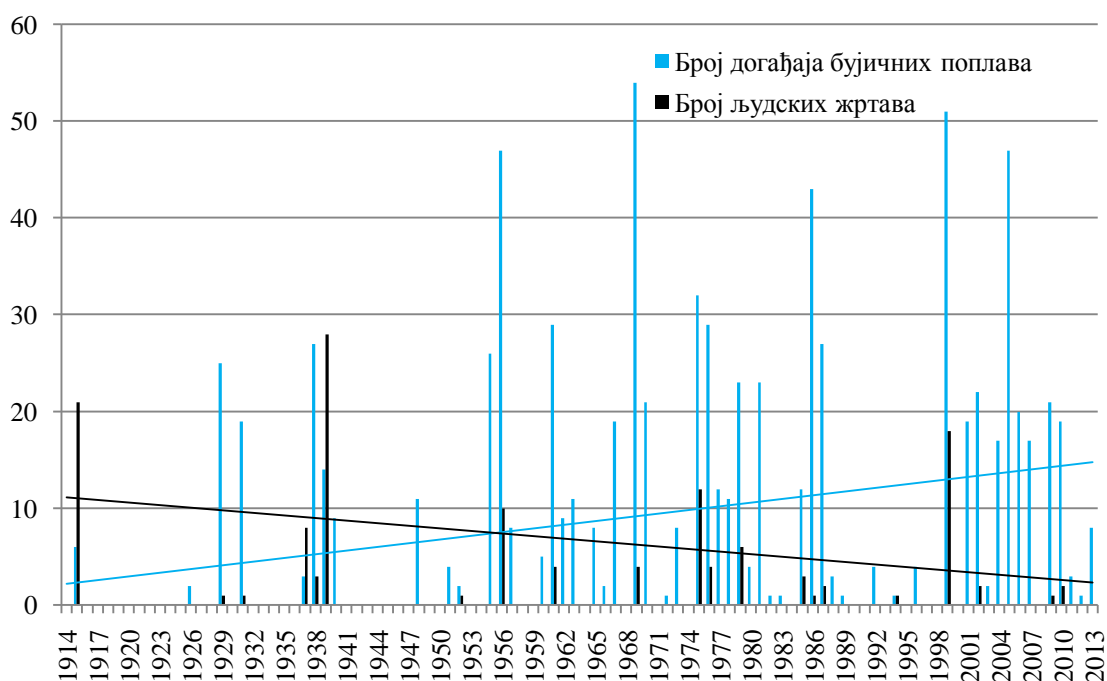
Слика 4.7. Дистрибуција регистрованих догађаја бујичних поплава и људских жртава по месецима у сливу Западне Мораве



Слика 4.8. Расподела максималних годишњих протицаја Топчидерске реке (профил Раковица) по месецима за период од 42 године (1959.-2012. са прекидима)

Постојање примарног и секундарног критичног периода током године на нивоу Инвентара може се осликати и на појединачном примеру расподеле максималних годишњих протицаја по месецима. С обзиром на расположиве податке, узет је пример слива Топчидерске реке (Слика 4.8.).

Годишњом дистрибуцијом догађаја бујичних поплава у истраживаном периоду од 99 година (Слика 4.9.) истичу се године са највећим бројем бујичних поплава – 1969. (54), 1999. (51), 2005. (47), 1956. (47) и 1986. (43). Просечан годишњи број догађаја за истраживани период је 8,6.



Слика 4.9. Дистрибуција догађаја бујичних поплава и људских жртава у посматраном периоду

Плава тренд линија јасно указује на линеарни пораст броја догађаја бујичних поплава са годинама што је у складу и са дистрибуцијом регистрованих бујичних поплава по периодима (1931.-1960., 1961.-1990.) издвојеним у циљу да се омогући компаративна анализа када су у питању промене у температурном и падавинском режиму (Табела 4.2.). Највећи број догађаја бујичних поплава (384) забележен је у периоду 1961.-1990. године, док је највећи број људских жртава забележен у

периоду 1931.-1960. година (>51). Просечан годишњи број појава бујичних поплава по периодима повећан је за готово десет пута од првог (2.06) до последњег периода (19.69).

Учесталија појава бујичних поплава може бити објашњена и променама климатских услова. Запажен је њихов неравномеран унутаргодишњи распоред у последњим деценијама и појављивање у виду јаких плускова (Поповић, 2007) који узрокују наглу концентracију воде у сливовима мале површине а стрмог терена, изазивајући бујичне поплаве као последицу.

Стручњаци широм света се слажу да максимални протицаји са повратним периодом од 100 година постају догађаји са повратним периодом од 20 година (Ristić et al., 2006a). Такође, према подацима из литературе о ризицима природних непогода постоји општа сагласност стручњака о тренду повећања броја непогода по декадама. Међутим, остаје недоумица око опште тврдње о учесталијој појави поплава с обзиром на убрзани развој и ширење инфраструктура и привредних капацитета баш у зонама угроженим од ове врсте непогода у последњих неколико деценија.

Табела 4.2. Дистрибуција регистрованих бујичних поплава по периодима

Временски период	Број догађаја бујичних поплава	Год. просек по периоду	Број жртава по периоду
1915.-1930.	33	2,06	>22
1931.-1960.	175	5,83	>51
1961.-1990.	384	12,80	36
1991.-2013.	256	19,69	24
Укупно	848		>133

*„Сваке године, бар по једном или два пута, набуја Дрина и замути се и с великим шумом проноси кроз лукове моста одваљене плотове с њива, изваљене пањеве и мрк талог од лишћа и грања из прибрежних шума.“*

*Иво Андрић („На Дрини Ћуприја“)*

#### **4.4. Последице догађаја бујичних поплава**

У погледу броја људских жртава и обима материјалних штета као последица катастрофалних природних непогода, бујичне поплаве су у жижи интересовања и спадају у најчешће природне непогоде у Србији. На основу графикана 4. у Инвентару се могу издвојити тзв. „трагичне године“ - 1939. (28 жртава), 1915. (>21), 1975. (12), 1999. (18) и 1956. (10) као и „трагични месеци“ - мај (45 жртава), јун (28), јул (21). Екстремни догађаји бујичних поплава у смислу људских жртава десили су се на Коритничкој реци - октобра 1939. (17 жртава), Корбевачкој реци - маја 1975. (12), Селској реци - јуна 1939. (11), Брестовачкој реци - маја 1915. (11), Сиколској реци - маја 1915. (>10), Топчидерској реци - јула 1999. године (10). Подаци о повређенима услед налета бујичног поплавног таласа су веома ретки.

Укупан број људских жртава као последица бујичних поплава је преко 133, а просек је готово 3 жртве по догађају бујичних поплава са смртним епилогом. Било је података о „неколико жртава“ за извесне догађаје који нису сумиране у споменти број па зато говоримо о „више од 133 људске жртве“. Прецизнији подаци о томе како је дошло до смртних исхода – услед давлeња у реци, аутомобилу, кући, код преласка моста су спорадично присутни. Може се претпоставити да је број смртних догађаја значајно већи у случају бујичних поплава него у случају поплава великих река које могу бити предвиђене и најављене неколико дана пре самог догађаја.

Иако тренд линија црне боје на графикону 4. указује на смањење броја људских жртава и даље је потребно развијати модерни систем за најаву и упозорења о појави бујичних поплава. У том смислу, потребно је да постоји организовано и систематизовано знање о факторима и праговима појаве бујичних поплава у

критичним сливовима. Када је систем за мониторинг и упозорење адекватан, онда је велика шанса да не дође до губитка и једног људског живота (French et al., 1983; Gourley et al., 2010). Међутим, питање је да ли локално становништво, пољопривредници и политичари уче из искустава претходних катастрофалних догађаја бујичних поплава, тј. од воље свих заинтересованих страна зависи у којој мери ће овај систем бити развијен.



Слика 4.10. После бујичне поплаве у Трговишту маја 2010. године и Новом Пазару фебруара 2013. године (Извор: [www.blic.rs](http://www.blic.rs), [www.novosti.rs](http://www.novosti.rs))

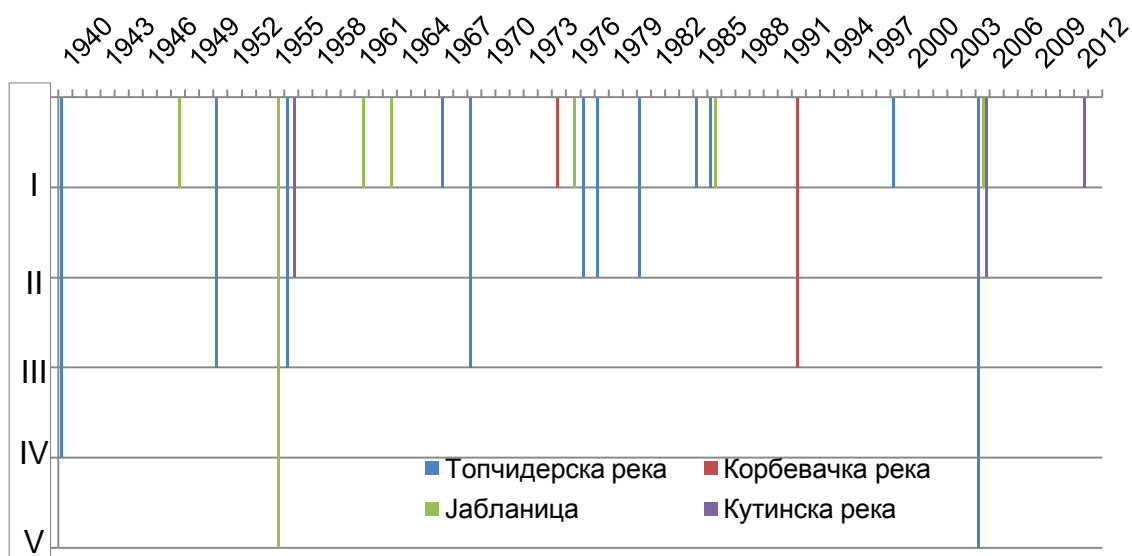
Економска анализа материјалних штета од бујичних поплава пописаних у Инвентару у смислу сумирања и изражавања у данашњој вредности националне валуте или еура није била задатак овог дела рада. Међутим, постоје значајни подаци на ову тему која може бити један од праваца даљег истраживања. Материјалне штете (нпр. Слика 4.10.) су описиване у хектарима поплавлених пољопривредних и непољопривредних површина, поплавлених стамбених јединица, индустријских објеката, аутомобила, саобраћајница. Повремено су, у овом истраживаном периоду, постојале комисије за процену штета које су сачињавале извештаје о штетама (изражаване у тадашњим динарима).

Поплаве бујичног карактера у једном бујичном сливу могу се појавити у широком опсегу интензитета што зависи од низа природних и антропогених услова и околности. На основу анализе и прегледа доступних података о штетама, односно опсегу штетног утицаја бујичних поплава, дефинисани су критеријуми за

категоризацију догађаја бујичних поплава према материјалним штетама што представља допринос разумевању ризика од бујичних поплава (Табела 4.3.). Дефинисано је пет категорија интензитета догађаја бујичних поплава аналогно класификацији интензитета ерозије земљишта према Гаврливићу (1972).

Табела 4.3. Предлог категоризације догађаја бујичних поплава према материјалним штетама

Поплављене површине	Категорија догађаја бујичних поплава
>500 ha/ >100 стамбених јединица	I (ексесивни интензитет)
100-500 ha/ 50-100 ст. јединица	II (веома јак интензитет)
50-100 ha/ 20-50 ст. јединица	III (јак интензитет)
20-50 ha/ 5-20 ст. јединица	IV (средњи интензитет)
<20 ha/ 1-5 ст. јединица	V (релативно слаб интензитет)



Слика 4.11. Категоризација догађаја бујичних поплава

На основу дефинисаних прагова, у даљој инвентаризацији потребно је сваком догађају бујичне поплаве доделити одређену категорију, односно интензитет догађаја. Пошто се материјалне штете и губици у људским животима не могу комбиновати у овој категоризацији, може се узети да се сваки догађај бујичне поплаве са једном или више људских жртава може сматати катастрофалним. На слици 4.11. на којој је дата представа о категоризацији догађаја бујичних поплава

за четири насумично одабрана слива, примећује се значајан број догађаја екцесивног интензитета, односно I категорије.

#### **4.6. Неки описи догађаја бујичних поплава**

У наставку текста дати су описи неколико догађаја бујичних поплава, а неки од описаних односе се на поједине поплавне таласе на основу којих су разрађени модели за слив Топлице и Топчидерске реке у другом делу рада. У прилогу А. дат је преглед свих регистрованих бујичних поплава у Инвентару бујичних поплава у Србији са основним подацима.

20. новембар 1979. „Политика“:

Највеће штете у крушевачком крају нанела је река Расина која је поплавила око 2.500 хектара плодних ораница и угрозила водовод у Брусу. Снажна бујица је однела мост у селу Вратарица па је саобраћај прекинут на релацији Александровац – Митрово Поље – Врњачка Бања. На путу Александровац – Јошаничка Бања бујица је у селу Јелацки однела 300 метара друма. И друм Трстеник – Велика Дренова је у прекиду због оштећења. Под водом се нашло неколико хиљада хектара плодних ораница у топличкој котлини, многа индустријска постројења у Куршумлији, Прокупљу и Житорађу. Овакве поплаве нису забележене у последњих 20 година. Водостај код Прокупља је био 50 см виши него приликом катастрофалних поплава 1976. године. Најпре су се излиле Бањска река и Косаница, а потом и Топлица. У Куршумлији су страдали погони шумско – индустријског комплекса „Копаоник“, металског предузећа и делови стамбених насеља. У Прокупљу је водена стихија захватила стотинак кућа у насељу Драгања. У Топлици је више од 8000 ha обрадивих површина под водом, а поплављено је и више од 2.000 кућа од којих је 130 у само Прокупљу. И Сјеница, Рашка, Матарушка бања и Тутин били су поплављени, а путеви ка Новом Пазару и Пријепољу били су у прекиду. На Косову - у Призрену и Косовској Каменици бујице су рушиле куће и оштетиле одоводну, електричну и ПТТ мрежу. Веома критична ситуација била је и у општини Витина, Качанику, Ђаковачкој, србичкој и драгашкој општини. У Бујановцу, Биначка Морава нанеле су велике штете у граду

и околним селима. Најтежа ситуација је у селима Лучане и Кончуљ, где је под водом 60 кућа. Под водом се налази и 2.500 хиљаде плодних равница, онеспособљени су и путни правци према чак 10 околних села. Усед водене стихије, критично стање у општинама Пријепоље и Прибој – прекинута настава у школама, оштећени путеви и прекинут саобраћај на многим правцима.

18. јул 1986. „Политика“:

Тањугови дописници кажу да је у околини Зајечара пало 55 литара воде по квадратном метру. Бујице су продрле у подруме Народне библиотеке и робну кућу у Зајечару. Становништво у Зајечару је остало без воде за пиће. У Сокобањи излила се Моравица и поплавила неколико кућа. Милионске штете су причиниле и на пољима алексиначке општине, а у многе производне погоне и стамбене објекте у Лепосавићу продрла је вода. Велико невреме праћено провалом облака, орканским ветровима и бујицама захватило је десетак села у месној заједници Блажево на Копаонику. Обилне кише направиле су за неколико часова бујице у токовима Луковске реке и Топлице. Снажне бујице носиле су све пред собом, па су многа домаћинства у селима Доње Левиће, Судимљу, Увизле, Витоше, Мерћез и друга данас остала одсечена. Бујице су носиле летње стаје са стоком, а многи домови остали су без кровова. Прекинут је и пут Брус - Куршумлија, јер је бујица однела мост преко Топлице код села Мерћеза. Невреме које је трајало више од 3 сата довело је до бујања реке Штире која пролази кроз Лозницу и која је потопила дечије обданиште, кафану, пијацу, трафо-станицу. У општинама Неготин и Кладово не памти се овакво невреме, а бујице су на неким парцелама сасвим уништиле усеве. Стручњаци процењују да ће уместо 420 хиљада тона пшенице, ратари у Југоисточној Србији након ове непогоде моћи ће да уберу једва 300 хиљада тона. Олуни ветар је причинио штете и воћу и поврћу. Због обилних киша и изливања река у прекиду је био и магистрални пут Титова Митровица – Рашка, код села Кајово. Поплављени су били и путни правци Мешак - Рудник – Бело Брдо, Лепосавић – Рудник – Црнац, Лепосавић – Зрносек и други локални путеви. Ипак, најтеже је мештанима у селима Добрава, Кајково, Мекиниће, Горњи Крнин и у насељима Сланиште и Тврђен, где је вода ушла и у домове. Због обилне кише, мобилно је стање и у општини Рашка, где су привредни и комунални објекти



оштећени. У рударском насељу Баљевац поплављено је седам кућа. Велике бујице оштетиле су и сеоске путеве који су на многим местима непроходни.

21. јун 1994. године, „Политика“:

Страдали су насеља Рашин, Мајдан и Рипањ-станица. Бујица Паланачки поток носила је аутомобиле, и до два километра, камионе, стоку, 20 кућа је уништено... Погинуо је Слободан Горуновић (41) кога је бујица однела из дворишта са монтажном гаражом, двоја кола и камионом. Угрожени су Барајево и Ресник.

10. јул 1999. године, „Политика“ & „Глас“:

Проблеми са поплавама присутни су у целој Србији. Нестанак десетак људи у воденим бујицама, потопљене и порушене куће и подруми, колапс градских служби, изливање фекалија и нестанак струје, воде и прекиди у телефонским везама, епилог су ноћашњег незапамћеног невремена са пљусковима, грмљавином и градом који је задесио цео Београд. У Рипњу је бујица зауставила међународни воз (код Пиносаве), железничка станица и многе куће су поплављене, а код избегличких барака „Планум“ вода је за пола сата порасла око четири метра. Припадници војске, полиције и ватрогасци су током ноћи извлачили потопљене и изнемогле особе. Ангажован је и Градски штаб цивилне заштите. Зграда Хитне помоћи опет је потопљена. Фекална вода се изливала из шахтова са којих су се подизали поклопци. У бујицама Топчидерске реке нестало десетак људи и деце. Тог кишног викенда у Београду излучило се преко 100 mm падавина које су последица циклона који је на Балкан стигао из суптропских крајева.

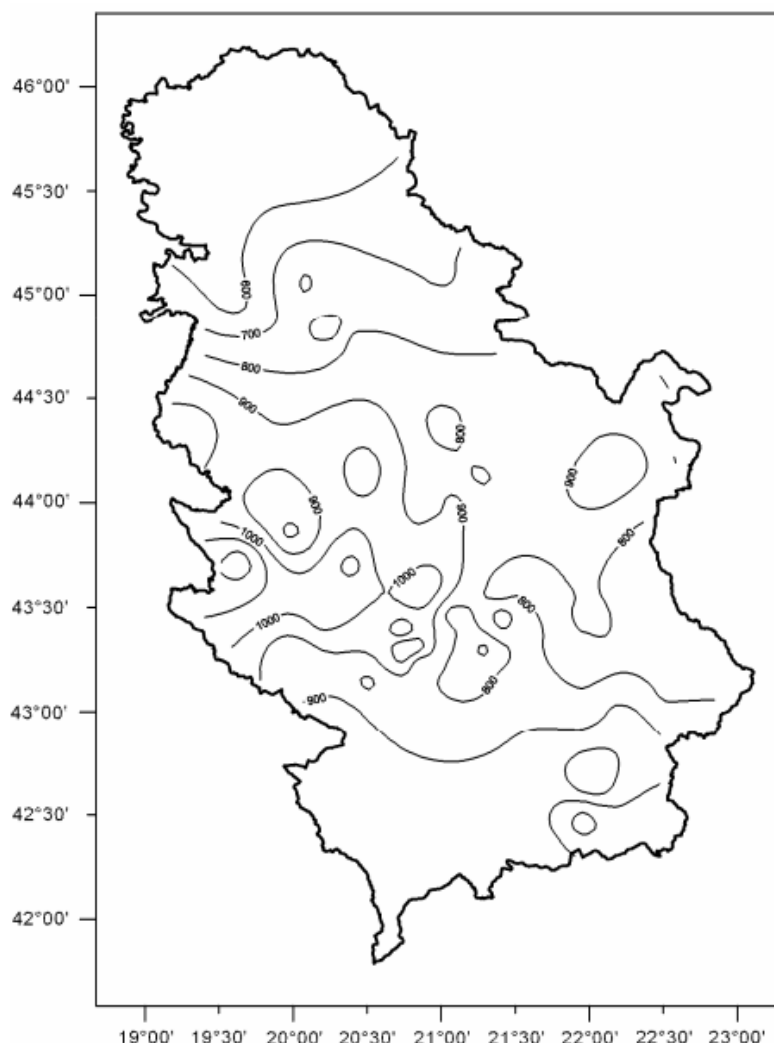
## **5. ФАКТОРИ ПОЈАВЕ ЕКСТРЕМНИХ БУЈИЧНИХ ПОПЛАВА**

Главни метеоролошки фактор појаве бујичних поплава су екстремне кишне епизоде, односно јак интензитет обилних кишних падавина које се најчешће излучују у топлијим месецима. Екстремне падавине, али и нагло топљење снега или њихова коинциденција представљају директан фактор, док физичко-географски и антропогени фактори представљају индиректне факторе појаве бујичне поплаве (Dragićević, 2007). Њихова узајамна повезаност у бујичним сливовима одређује праг појаве бујичних поплава.

### **5.1. Екстремне епизоде киша**

Према анализи падавинског режима (1946.-1991. године) у Водопривредној основи Републике Србије (1996, 2001), просечна годишња количина падавина на територији Србије износи 734 mm, при чему су ове падавине просторно и временски неравномерно распоређене (Слика 5.1.). Према овој анализи, најмање годишње количине падавина су регистроване у долинама Ситнице, Јужне и Велике Мораве и на територији Војводине. Годишња сума падавина повећава са надморском висином. Тако се у централној Србији висина годишњих падавина креће у распону од 600 mm до 1000 mm у планинским пределима. У сливу Белог Дрима забележено и до 1500 mm падавина годишње. Такође високе годишње количине падавина, преко 900 mm, регистроване су у сливовима горњег Ибра, Плавске реке и Лепенца.

Унутаргодишња анализа падавина коју је израдио РХМЗС-е (2014) указује да се највећа количина кишних падавина излучи у јуну и мају. У плувиометријском режиму падавина београдског региона, јасно се издваја месец јун са највећом количином падавина, а потом следе мај и јул, што је карактеристика већег дела Србије (Живковић & Драгићевић, 2003).



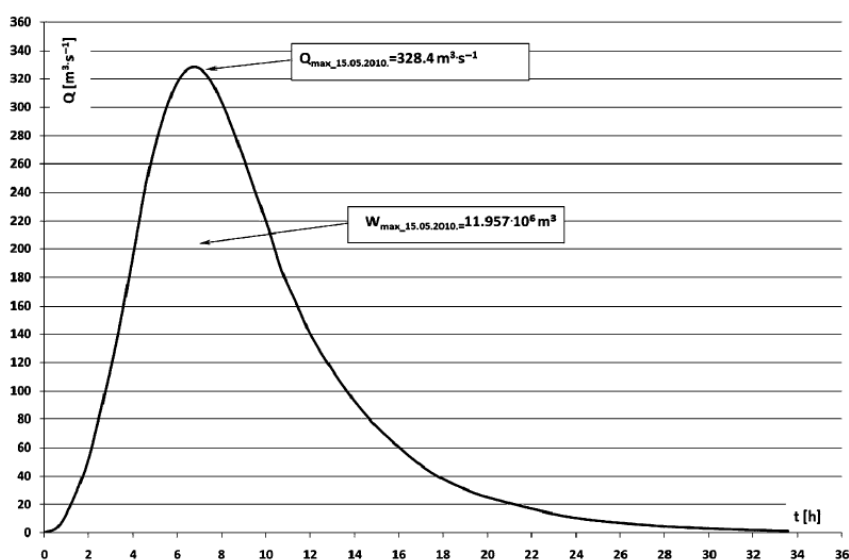
Слика 5.1. Годишња количина падавина у Србији за 2009. годину

Извор: РХМЗС-е, 2010.

Међутим, забележени су случајеви када се просечна месечна количина падавина излучи за само један дан. Према Драгићевићу (2007), у Обреновцу је излучено 56 mm 30. јула 1999. године, а наредног дана 58 mm. То значи да је 114 mm излучено за два дана, док је просечна месечна сума падавина за јул за вишегодишњи период 59 mm. Исти аутор наводи да је јула 1999. године у Обреновцу излучено 328 mm, при чему средња годишња количина падавина за ову београдску општину за период 1961.-1990. године износи 647 mm. Падавине оваквог интензитета изазивају појаву поплавних таласа у коритима Колубаре и њених притока као што је забележено 16. августа 1955. ( $Q_{\max} = 104.5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ), 16. маја 1965., 19. марта 1981.,

13. јуна 1996., 10. и 30. јула 1999., 22. јуна 2001. ( $Q_{\max} = 672 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) и 23. јуна 2010. године ( $Q_{\max} = 767 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ).

У сливу Пчиње је 15. маја 2010. године излучено између 39 - 110 mm кишних падавина услед циклонске активности нарочито у изворишном делу слива. Количина кишних падавина које су излучене у периоду од 10 дана пре поплаве кретала се између 12.3-156.2 mm. Тада је ниво воде повећан са 0.3 на 3.7 m, а протицај је увећан за невероватних 411 пута, тј. са  $Q = 0.81 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  на  $Q_{\max} = 328.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  који је реконструисан на основу методе о хидрауличким траговима и радарских снимака синоптичке ситуације (Слика 5.2.) (Dragičević et al., 2013).



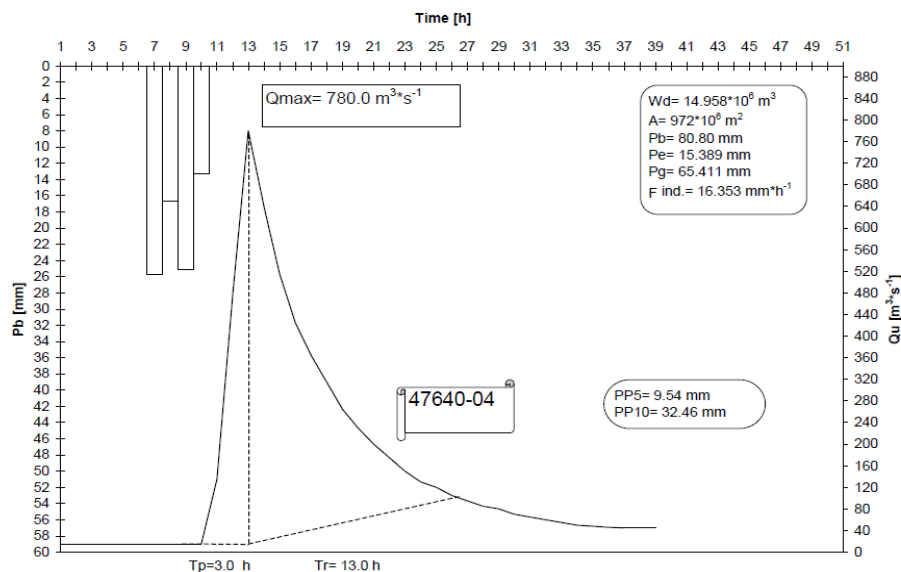
Слика 5.2. Реконструисани хидрограм максималног протицаја Пчиње, профил Трговиште, 15.05.2010. године. Извор: Dragičević et al., 2013.

Након екстремног пљуска, када се 25. јула 1982. године излучило 105 mm кише у сливу, дошло је до појаве поплавног таласа Љештарске долине са реконструисаним максималним протицајем  $Q_{\max} = 16.16 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  и вероватноћом појаве од  $p = 1 \%$  (Kostadinov, 1988). Коефицијент отицаја износио је 0.6, а висока вредност овог параметра тумачи се као резултат интензитета и висине падавина и конфигурације терена у сливу Љештарске долине ( $A = 2.64 \text{ km}^2$ ,  $I_{sr} = 32.07 \%$ ). Према Костадинову (1988), време пораста хидрограма  $T_p = 1.3 \text{ h}$ , а укупна запремина отекле воде у таласу износи  $170.650 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

Бујична поплава Сејаничке реке, која се догодила 2. јула 1983. године, последица је интензивних киша (91 mm / 90 min), рушења преграде и велике количине наноса, и због тога смањеног протицајног профила регулације на деоници 1. и 5. сектора регулације и коначно, непотпуне реализације пројектованих противерозионих радова (Kostadinov, 1992a). Реч је о стогодишњој поплави са реконструисаним максималним протицајем,  $Q_{\max} = 62 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ .

Поплава Радаљске реке 1989. године (Slavić et al., 1989) настала је након интензивних падавина које су се излучиле између 21 h, 20. августа и 03 h, 21. августа у распону од 41 mm колико је регистровано на станици Бања Ковиљача, 77.1 mm на станици Лозница до 105.5 mm на станици Планина. Овај поплазни талас је хидрауличком методом реконструисан на неколико контролних профила, а на петом профилу узводно од ушћа у реку Дрину израчунат је максимални протицај,  $Q_{\max} = 95 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , и време концентрације  $T_c = 0.95 \text{ h}$ .

Чувена поплава Власине из 1988. године (Слика 5.3.) настала је као последица екстремних киша које су 26. јуна захватиле горњи део слива реке Власине и слив њене десне притоке Лужнице. Повратни период вршних протицаја Власине низводно од ушћа Лужнице износио је 400 година, а Власине узводно од Лужнице 300 година (Прохаска 1989). Лимниграфска трака је посведочила да је пораст водостаја нагло порастао са  $H = 42 \text{ cm}$  на  $H = 500 \text{ cm}$ . У изворишном делу Власине, на станици Раков дол за непуна три сата регистровано је 220 mm, на станици Радињинци 220 mm, а на станици Кијевац 130.5 mm. Ради поређења, средња годишња сума падавина у овом сливу је око 835 mm (Kostadinov, 1992b). Према Костадинову, реконструисани вршни протицај Равне реке (слив Власине,  $A = 5.93 \text{ km}^2$ ) износи  $49.09 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , са повратним периодом од 800 година и вероватноћом појаве од  $p = 0.125\%$ .

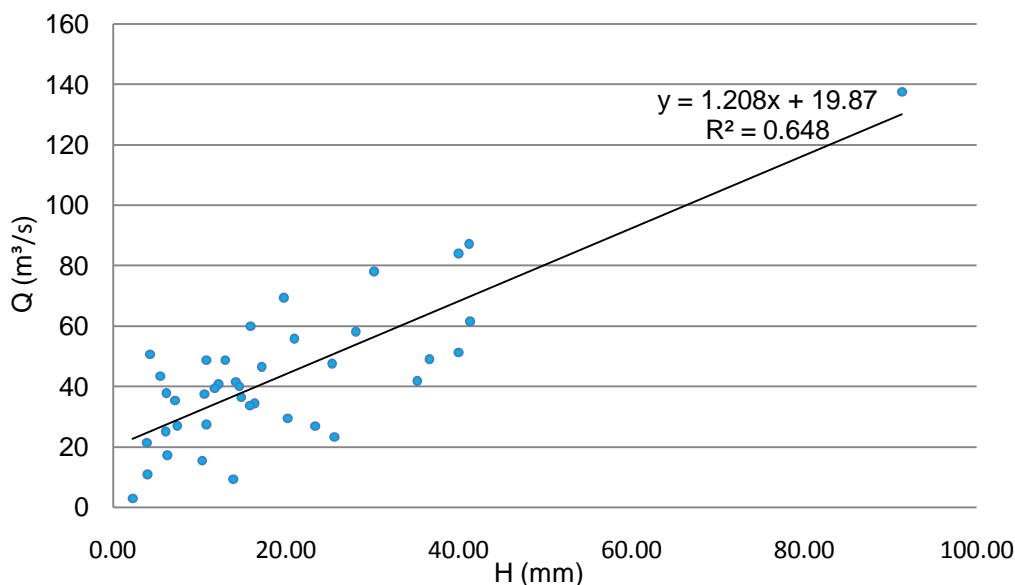


Слика 5.3. Јединични хидрограм Власине 26. јуна 1988. године

Извор: Ристић et al., 2009.

Током 13. јуна 1996. године између 14 и 21 h регистровано је између 85.6 – 173.4 mm кише на територији Ваљева, Лазареваца, Лајковца и Мионице (Ristić et al., 1997). У сливу Манастирице ( $A = 29.5 \text{ km}^2$ ), на падавинској станици Брежђе регистрована је дневна сума падавина за овај датум од 136.1 mm, а на станици Манастирица 145.5 mm. Максимални ниво воде је достигнут шест и по сати од почетка кише, а три сата од почетка подизања водостаја. На основу методе трагова велике воде, према овим ауторима, реконструисани максимални протицај износио је  $Q_{\max} = 154.8 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , са повратним периодом од 5000 година, односно вероватноћом појаве од  $p = 0.02 \%$ , а специфични максимални протицај износио је  $5.25 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$ . Поплавни талас истог датума догодио се после кишне епизоде истог интензитета ( $0.75\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ) и на Рибници ( $A = 104 \text{ km}^2$ ), са реконструисаним максималним протицајем  $Q_{\max} = 418.08 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  и високим специфичним максималним протицајем  $q_{\max\text{sp}} = 4.02 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  (Ristić et al, 2009). Поплава Калиманске реке из 1929. године ( $A = 16.04 \text{ km}^2$ ) имала је вршни протицај  $Q_{\max} = 149 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  и изразито високи специфични максимални протицај,  $q_{\max\text{sp}} = 9.3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{km}^2$  (Ristić et al., 2012). Катастрофална поплава Топлице из јула 1986. године ( $Q_{\max\text{Магово}} = 192 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) настала је такође након интензивне кишне епизоде. Тада је на падавинској станици Пачарађа забележено чак 100.2 mm, а на станици Блажево 85.4 mm.

Поплава у сливу Топчидерске реке 28. августа 1985. године догодила се као последица обилних падавина које су забележене на падавинским станицама Бела река ( $T_k = 44$  h са прекидима,  $H = 201.8$  mm), Клење ( $T_k = 42$  h са прекидима,  $H = 180.5$  mm), Рипањ тунел ( $T_k = 39$  h са прекидима,  $H = 179.7$  mm) (Prohaska, et al., 1989). Како наводе аутори рада, после дужег сушног периода, дошло је до продора хладног и влажног ваздуха из правца северозапада и формирања циклona. Тако су максимални водостаји поплавних таласа постали рекордни у односу на дотадашње, а регистровани максимални протицаји износили су на контролном профилу Бела Река,  $Q_{\max} = 70 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , профилу Ресник,  $Q_{\max} = 86 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , и на профилу Р. Рампа,  $Q_{\max} = 40 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Повратни период падавина максималног интензитета за станицу Бела река износио је 400 година, коефицијент отицаја у сливу Беле реке био је веома висок и износио је 0.6 (Prohaska, et al., 1989). Катастрофална поплава Топчидерске реке ( $Q_{\max \text{ Раковица}} = 91.35 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) и њених притока 1999. године догодила се након обилних падавина, када је на станици Кошутњак 10. јула регистровано 85.8 mm, на станици Церак 81.2 mm, на станици Јајинци 80.9 mm, а на станици Рушањ 89.5 mm.



Слика 5.4. Зависност појаве макс. протицаја ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) Топчидерске реке и висина падавина (mm) (кишомерна станица Кошутњак) за период од 42 године (1959.- 2012. са прекидима)

Слика 5.4. указује на значајну зависност величине максималног протицаја од висине падавина, што је приказано на примеру Топчидерске реке узимајући у обзир количину падавина у последњих пет дана пред појаву максималних протицаја у летњем периоду године.

Такође треба споменути катастрофалне последице наведених примера екстремних бујичних поплава у виду губитака људских живота и материјалних штета широких размера.

## **5.2. Индиректни фактори**

Из претходних анализа догађаја бујичних поплава намеће се закључак да су екстремне кишне епизоде главни окидач појаве екстремних бујичних поплава, као што се наводи у већини анализа. Међутим, многе анализе догађаја бујичних поплава инсистирају и на другим узроцима, односно факторима појаве бујичних поплава у сливу.

Истраживање Николића et al. (2007) указује на утицај геолошке подлоге на процес и величину отицаја у сливу. Билансирањем за расположиве низове, аутори су дошли до резултата да са планинског дела Јабланице у просеку отекне 20.4 % воде која се излучи падавинама, а за Пећку Бистрицу, истом методом водног биланса, добија се отицај од 67.5 %, што је око 3.3 пута више у односу на сливно подручје Јабланице. Према ауторима Николић et al. (2007), на основу компаративне анализе свих фактора који утичу на отицај, добијена разлика првенствено се може приписати утицају водопропустљивости подлоге, узимајући у обзир две крајности геолошких подлога изабраних сливова (водонепропустан и веома водопропустан терен).

О утицају шумског покривача на режим отицаја у сливу сведочи истраживање (Kostadinov, 2013a) у три експериментална слива мале величине у западној Србији, у близини Љубовије. Слинови Лоњинског потока, Дубошничког потока и



потока Ђуриновац, десних притока реке Дрине, одликују су готово истим топографским, геолошким и педолошким карактеристикама, а једина разлика је у степену пошумљености слива. Уравнотежен режим отицаја доказан је у сливу Лоњинског потока (са 70 % површине под шумама доброг склопа); појава максималних протицаја није била честа, док је у периоду истраживања од 8 година поток два пута пресушио у трајању од пет дана. Супротно томе, неуравнотежен режим отицаја установљен је за слив потока Ђуриновац у коме је под шумама 39.5 % површине. Сваке године у летњем периоду овај поток је пресушивао и просечно шест месеци у току године је остајао без воде, али је истовремено укупан годишњи отицај, готово једнак Лоњинском потоку, показивао да се отицај одвијао у виду поплавних таласа. Такође је важно истакнути да је просечни максимални специфични протицај био за 4.6 пута већи него у Лоњинском потоку. С обзиром на већи проценат шума у сливу Дубошничког потока у односу на Ђуриновац (48.5%), очекиван је и потврђен нешто бољи режим отицаја. Иако је било сушних периода и појаве поплавних таласа, екстрими су били мање изражени, па је тако просечни максимални специфични протицај био за 1.9 пута већи у односу на Лоњински поток, а број дана без воде преполовљен у односу на поток Ђуриновац.

Такође је изведено истраживање (Ristić et al., 2005) на Гочу (у сливу Ибра) са четири експерименталне хидролошке станице постављене у микросливовима, од тога три на локалитету Равнине и једна на локалитету Ваоне. Регистрован је највећи број дана са отицајем на површинама под шумским покривачем (где је велика потрошња воде у процесу интерцепције и евапотранспирације), а најмањи број дана са отицајем у микросливу са ливадском и пашњачком вегетацијом. Првобитна голет показала је значајно побољшање хидролошких особина и уравнотеженији режим отицаја, у осмој години након пошумљавања црним бором.

На примеру студије случаја слива реке Јелашнице (Ristić et al., 2011c) креиран је сценарио праксе уређења при чему би реализација планираних рестаурационих захвата требало да доведе, осим до смањења годишње продукције ерозионог

материјала, и до смањења вредности максималног протицаја са  $Q_{\max}\text{-АМСШ (1\%)} = 54.17 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  на  $Q_{\max}\text{-АМСШ (1\%)} = 41.22 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , као резултат побољшања хидролошких услова и промене начина коришћења земљишта. Реализација оваквих сценарија допринела би смањењу угрожености и ризика од бујичних поплава.

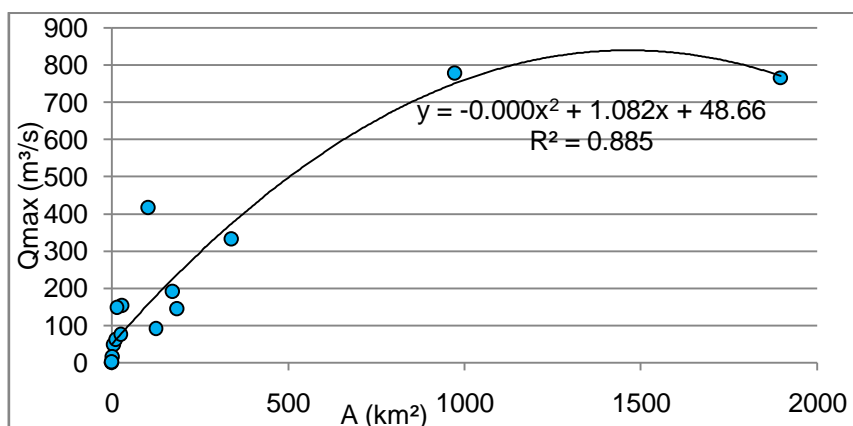
Утицај антропогеног фактора долази до изражаја при компарацији хидрограма у различитим временским пресецима услед драстично измењеног начина коришћења земљишта. Тако је у раду Ristić et al. (2006a) комбинованим методом синтетичког јединичног хидрограма и SCS методологије израчунат максимални протицај Калуђеричке реке вероватноће појаве од 1% при начину коришћења из 2005. године,  $Q_{\max}\text{-АМСШ (1\%, 2005)} = 50.6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  у односу на максимални протицај исте вероватноће при начину коришћења из 1953. године (када је удео урбанизованих површина био мањи за седам пута),  $Q_{\max}\text{-АМСШ (1\%, 1953)} = 33.8 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Промене у начину коришћења земљишта увек су доводиле до низа ланчаних промена. На пример, конверзија ливадских и шумских површина у обрадиве површине подразумева промене инфилтрационог капацитета земљишта, интензитета интерцепције и евапотранспирације од чега на крају зависи процес отицаја.

Према ауторима, Zlatić et al. (1986), висок демографски раст и аграрни притисак на подручју сливова Љештарске долине, Репинске реке и Калиманске реке, анализирајући податке од 1885., достигнут је педесетих година прошлог века, након чега се постепено смањивао. До педесетих су се воћњаци и оранице шириле на рачун шума и сточни фонд повећавао чиме су се интензивирали процеси ерозије и феномен бујичних поплава. За период после педесетих година 20.-ог века бележи се смањени аграрни и демографски притисак услед миграција, смањен број оваца и коза услед забране гајења коза, извођење биолошких и техничких радова, што је резултирало у обнови шумске вегетације и смањеном интензитету ерозије (Zlatić et al., 1986).

Dragićević et al. (2013) наводи да поред екстремних кишних епизода, узроци појаве катастрофалних бујичних поплава Колубаре леже и у карактеристикама слива Колубаре – облик готово кружног облика и коефицијент пуноће (0.79) (који је веома редак у природи), орографија и положај слива (који је на удару влажних ваздушних маса са северозапада), значајне обешумљености и бујичарског режима многих притока, литолошких и педолошких особина у доњем делу слива (због слабе ретенционе моћи и доминације површинског отицаја), људске активности (ископавање угља и премештање речних корита), затрпаност корита доњег тока наносом.

Из анализа догађаја бујичних поплава таласа које су саставни део Инвентара узети су доступни подаци (Табела 5.1.) и испитивана је зависност специфичног максималног протицаја и максималног протицаја од површине слива, висине падавина, уравнатог пада речног корита, средњег пада слива, процента пошумљености, коефицијента ерозије земљишта.

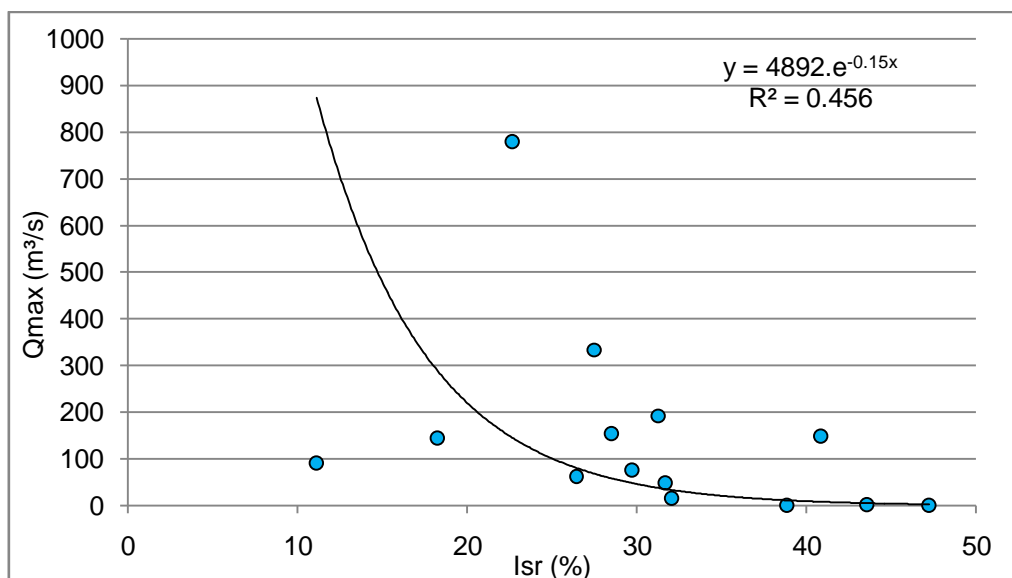
Нађене су следеће значајније зависности између зависних и независних варијабли простом регресионом анализом. За изражавање зависности максималног протицаја  $Q_{\max}$  од површине слива  $A$ , утврђена је полиномијална регресија другог степена, па коефицијент детерминације износи  $R^2 = 0.885$  што указује на високу повезаност посматраних величина (Слика 5.5.).



Слика 5.5. Зависност максималног протицаја  $Q_{\max}$  од површине слива  $A$  (према табели 5.1.)

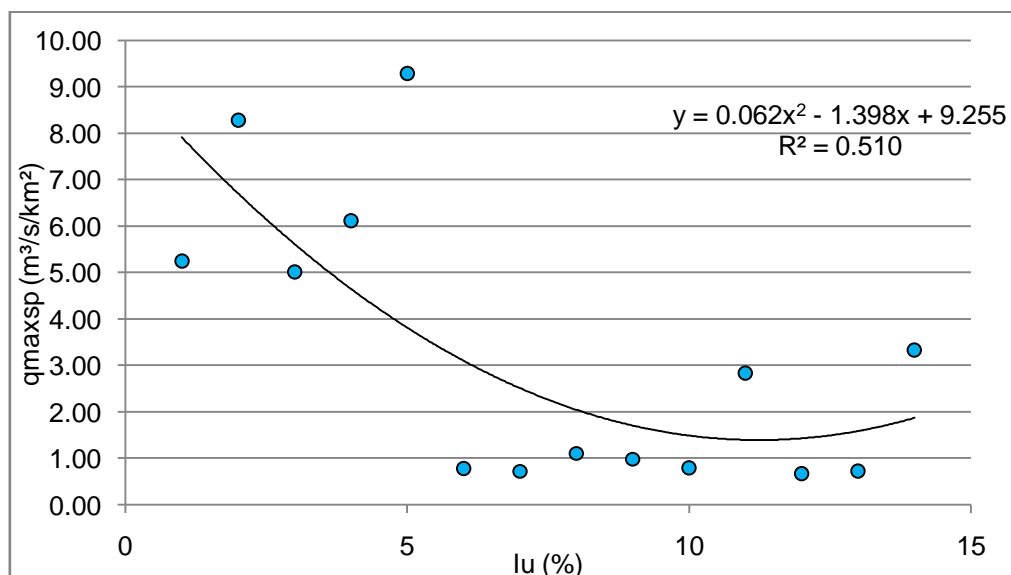
Табела 5.1. Параметри за одабране сливовe и њиховe екстремне бујичне поплаве

Ред. бр.	Водоток	Профил	Датум	A (km <sup>2</sup> )	Qmax (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	qmaxsp (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> )	Tk (min)	i (mm/min)	H (mm)	Z	% пошум. (%)	Iu (%)	Isr (%)	Ia (%)
1	Рибница	Паштрић	13-06-96	104	418.08	4.02	180	0.75	135	-	46.4	-	-	-
2	Манастирица	Брежђе	13-06-96	29.50	154.80	5.25	180	0.78	140.8	0.23	63	3.3	28.5	5.2
3	Равна р.	Раков До	26-06-88	5.93	49.09	8.28	240	0.92	220	0.66	39	10.1	31.69	14.62
4	Сејаничка р.	Грделица	02-07-83	12.51	62.75	5.02	90	1.01	90.9	0.44	24.38	9.57	26.46	-
5	Љештарска д.	Влад. Хан	25-07-82	2.64	16.16	6.12	90	1.17	105	0.52	72.64	13.45	32.07	-
6	Калиманска р.	Влад. Хан	1eto 1929	16.04	149.00	9.30	-	-	-	1.25	33	7.6	40.86	9.21
7	Обница	Ваљево	07-05-87	185.61	145.00	0.78	24	3.75	90	0.36	31.4	2.9	18.26	-
8	Колубара	Бели брод	23-06-10	1.896	767.00	0.40	48	4.52	216.8	0.35	43.78	-	-	-
9	Топчидерска р.	Раковица	10-07-99	126.87	91.50	0.72	31	3.85	119.4	0.38	28.8	0.48	11.11	1.08
10	Топлица	Магово	18-06-86	173.46	192.00	1.11	420	13.96	97.7	0.48	62.5	1.86	31.27	3.88
11	Пчиња	Трговиште	15-05-10	339.1	333.30	0.98	-	-	92	0.62	-	2.37	27.48	4.37
12	Власина	Власотинце	26-06-88	972	780.00	0.80	240	0.34	103	-	-	1.67	22.67	-
13	Камишна	Мокра Гора	27-05-07	26.94	76.30	2.83	120	0.83	99.6	0.47	16.33	4.2	29.73	5.04
14	Дубошнички п.	Бач. на Дрини	-	1.25	0.84	0.67	-	-	-	0.56	48.52	18.37	47.24	-
15	Лоњински п.	Лоњин	-	0.77	0.56	0.73	-	-	-	0.34	70.35	18.94	38.87	-
16	Ђуриновац п.	Љубовија	-	0.54	1.80	3.33	-	-	-	0.49	39.5	12.63	43.59	-



Слика 5.6. Зависност максималног протицаја  $Q_{\max}$  од средњег пада слива  $I_{sr}$  (за четрнаест чланова из низа према табели 5.1.)

За изражавање зависности максималног протицаја  $Q_{\max}$  од средњег пада слива  $I_{sr}$ , утврђена је експоненцијална регресија другог степена, па коефицијент детерминације  $R^2 = 0.456$  указује на значајну повезаност посматраних величина (Слика 5.6.).



Слика 5.7. Зависност специфичног максималног протицаја  $q_{\max sp}$  од уравнатог пада речног корита  $I_u$  (за дванаест чланова из низа према табели 5.1.)

За изражавање зависности специфичног максималног протицаја  $q_{\max sr}$  од уравнатог пада речног корита  $I_u$ , утврђена је полиномијална регресија другог степена, па коефицијент детерминације  $R^2 = 0.510$  указује на значајну повезаност посматраних величина (Слика 5.7.).

Расипање тачака око криве може се објаснити чињеницом да поред једног појединачног фактора на појаву бујичних поплава утиче више других фактора тако да је неопходно њихово укључивање.

У наредним табелама представљени су резултати вишеструке регресионе анализе за испитивање зависности величине специфичног максималног протицаја најпре од висине падавина  $H$  и површине слива  $A$ . У следећим корацима додавана је по једна варијабла и то следећим редом - најпре уравнати пад речног корита  $I_u$ , потом средњи пад слива  $I_{sr}$ , потом коефицијент ерозије земљишта  $Z$ , и најзад проценат пошумљености.

Вишеструка регресиона анализа са две независне варијабле, висином падавина и површином слива (Табела 5.2.), даје коефицијент детерминације  $R^2 = 0.664$ . Додавањем параметра уравнатог пада речног корита, вишеструком анализом са три независно променљиве (Табела 5.3.), значајно се повећава коефицијент детерминације  $R^2 = 0.922$ . Следећа анализа са четири независно променљиве, додавањем параметра средњег пада слива (Табела 5.4.), даје коефицијент детерминације  $R^2 = 0.963$ . Додавањем коефицијента ерозије земљишта као пете варијабле (Табела 5.5.), вишеструком регресионом анализом добија се коефицијент  $R^2 = 0.976$ . Додавањем процента пошумљености слива као шесте независне варијабле (Табела 5.6.), вишеструком регресионом анализом добија се до сада највиши коефицијент детерминације  $R^2 = 0.996$ . Високе вредности коефицијента детерминације указују на велику и значајну зависност специфичног максималног протицаја од наведених параметара.

Табела 5.2. Вишеструка регресиона анализа за испитивање зависности специфичног максималног протицаја  $q_{\max sp}$  ( $m^3 s^{-1}/km^2$ ) од висине падавина  $H$  (mm) и површине слива  $A$  ( $km^2$ ) (за дванаест чланова из табеле 5.1.)

*Multiple Regression Analysis*

Dependent variable:  $q_{\max sp}$

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-0.709632	1.51683	-0.467839	0.6510
A	-0.00391835	0.00101136	-3.87433	0.0038
H	0.0397348	0.0123171	3.22598	0.0104

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	51.3183	2	25.6592	8.92	0.0073
Residual	25.878	9	2.87533		
Total (Corr.)	77.1963	11			

R-squared = 66.4777 percent  
R-squared (adjusted for d.f.) = 59.0283 percent  
Standard Error of Est. = 1.69568  
Mean absolute error = 1.13532  
Durbin-Watson statistic = 1.4769

The equation of the fitted model is:  
 $q_{\max sp} = -0.709632 - 0.00391835 \cdot A + 0.0397348 \cdot H$

Међутим, треба обратити пажњу и на параметар вероватноће грешке ( $p$ ) према  $F$  – тесту, чија је вредност мања од 0.05 и указује на статистичку значајност везе између варијабли на високом нивоу поверења ( $> 95\%$ ) у свим случајевима осим у последњој вишеструкој анализи са шест независно променљивих. У овом случају је ниво поверења за статистичку значајност везе између варијабли нижа од 90 %, при чему варијабли процента пошумљености припада највећа вредност вероватноће грешке ( $p$ ).

Табела 5.3. Вишеструка регресиона анализа за испитивање зависности специфичног максималног протицаја  $q_{maxsp}$  ( $m^3s^{-1}km^{-2}$ ) од висине падавина  $H$  (mm), површине слива  $A$  ( $km^2$ ) и уравнатог пада речног корита  $Iu$  (%) (за десет чланова из табеле 5.1.)

*Multiple Regression Analysis*

Dependent variable:  $q_{maxsp}$

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-2.25638	1.10306	-2.04557	0.0868
A	-0.0012369	0.00121484	-1.01816	0.3479
Iu	0.399297	0.0832278	4.79764	0.0030
H	0.031809	0.00840178	3.78598	0.0091

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	63.7167	3	21.2389	23.91	0.0010
Residual	5.33004	6	0.88834		
Total (Corr.)	69.0467	9			

R-squared = 92.2805 percent  
R-squared (adjusted for d.f.) = 88.4208 percent  
Standard Error of Est. = 0.942518  
Mean absolute error = 0.583121  
Durbin-Watson statistic = 1.45902

---

The equation of the fitted model is

$$q_{maxsp} = -2.25638 - 0.0012369 \cdot A + 0.399297 \cdot Iu + 0.031809 \cdot H$$

За све изведене вишеструке анализе регресије у табелама дате су једначине модела зависности зависно променљиве, специфичног максималног протицаја, од независно променљивих.



Табела 5.4. Вишеструка регресиона анализа за испитивање зависности специфичног максималног протицаја  $q_{\max sp}$  ( $m^3 s^{-1} km^{-2}$ ) од висине падавина  $H$  (mm), површине слива  $A$  ( $km^2$ ), уравнатог пада речног корита  $I_u$  (%) и средњег пада слива  $I_{sr}$  (%) (за десет чланова из табеле 5.1.)

*Multiple Regression Analysis*

Dependent variable:  $q_{\max sp}$

		Standard	T	
Parameter	Estimate	Error	Statistic	P-Value
CONSTANT	-3.45782	1.56999	-2.20245	0.0789
A	-0.00125043	0.0012017	-1.04055	0.3458
H	0.0311011	0.00833702	3.73048	0.0136
Isr	0.0590249	0.0554616	1.06425	0.3359
Iu	0.350362	0.0942937	3.71564	0.0138

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	64.701	4	16.1753	18.61	0.0033
Residual	4.34564	5	0.869128		
Total (Corr.)	69.0467	9			

R-squared = 93.7062 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 88.6712 percent

Standard Error of Est. = 0.932271

Mean absolute error = 0.5251

Durbin-Watson statistic = 1.84559

The equation of the fitted model is

$$q_{\max sp} = -3.45782 - 0.00125043 \cdot A + 0.0311011 \cdot H + 0.0590249 \cdot I_{sr} + 0.350362 \cdot I_u$$

Табела 5.5. Вишеструка регресиона анализа за испитивање зависности специфичног максималног протицаја  $q_{\max sp}$  ( $m^3 s^{-1} km^{-2}$ ) од висине падавина  $H$  (mm), површине слива  $A$  ( $km^2$ ), уравнатог пада речног корита  $I_u$  (%), средњег пада слива  $I_{sr}$  (%) и коефицијента ерозије  $Z$  (за девет чланова из табеле 5.1.).

### *Multiple Regression Analysis*

Dependent variable:  $q_{\max sp}$

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-2.43284	1.33078	-1.82814	0.1650
A	-0.00108047	0.00441822	-0.244548	0.8226
H	0.0340768	0.00775014	4.39693	0.0218
Isr	0.0879627	0.044256	1.98759	0.1410
Iu	0.38902	0.108028	3.6011	0.0367
Z	-5.18647	3.23253	-1.60446	0.2070

### Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	61.2034	5	12.2407	24.45	0.0123
Residual	1.50183	3	0.500611		
Total (Corr.)	62.7052	8			

R-squared = 97.6049 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 93.6131 percent

Standard Error of Est. = 0.707539

Mean absolute error = 0.345421

Durbin-Watson statistic = 2.44055

The equation of the fitted model is

$$q_{\max sp} = -2.43284 - 0.00108047 \cdot A + 0.0340768 \cdot H + 0.0879627 \cdot I_{sr} + 0.38902 \cdot I_u - 5.18647 \cdot Z$$

Табела 5.6. Вишеструка регресиона анализа за испитивање зависности специфичног максималног протицаја  $q_{maxsp}$  ( $m^3s^{-1}km^{-2}$ ) од висине падавина  $H$  (mm), површине слива  $A$  ( $km^2$ ), уравнатог пада речног корита  $Iu$  (%), средњег пада слива  $Isr$  (%), коефицијента ерозије  $Z$  и процента пошумљености слива (за осам чланова из табеле 5.1.).

### Multiple Regression Analysis

Dependent variable:  $q_{maxsp}$

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-1.08603	1.11216	-0.9765	0.5076
A	-0.00570149	0.00528614	-1.07857	0.4759
H	0.0346668	0.00585955	5.91629	0.1066
Isr	0.0850871	0.040721	2.08952	0.2842
Iu	0.377721	0.0912125	4.14111	0.1508
Pošum.	-0.00808256	0.0132676	-0.609196	0.6517
Z	-6.71414	2.81272	-2.38706	0.2526

### Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	55.5939	6	9.26564	41.53	0.1166
Residual	0.223125	1	0.223125		
Total (Corr.)	55.817	7			

R-squared = 99.6003 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 97.2018 percent

Standard Error of Est. = 0.472361

Mean absolute error = 0.133777

Durbin-Watson statistic = 2.27322

The equation of the fitted model is

$$q_{maxsp} = -1.08603 - 0.00570149*A + 0.0346668*H + 0.0850871*Isr + 0.377721*Iu - 0.00808256*Pošum - 6.71414*Z$$

Најзад, треба напоменути да су приказане анализе изведене за издвојене екстремне бујичне поплаве као и да је број чланова у низу релативно мали. Међутим, приказане анализе указују на значајне трендове у погледу зависности величина максималног протицаја и специфичног максималног протицаја у односу на висину кишних падавина  $H$ , физичкогеографске параметре  $A$ ,  $I_u$ ,  $I_{sr}$ ,  $Z$  и пошумљеност слива. У смислу даљих анализа, потребно је употпуњавати представљени Инвентар бујичних поплава са подацима о максималним протицајима и кишним падавинама које су изазвале те максималне протицаје. Са друге стране, недостатак података о параметрима бујичних сливова указује на потребу израде Катастра бујичних токова у Србији и у овом тренутку онемогућава увођење већег броја сливова у представљене анализе.

## **6. РЕЗУЛТАТИ АНАЛИЗА ФАКТОРА ПОЈАВЕ ПОПЛАВА У ЕКСПЕРИМЕНАЛНИМ СЛИВОВИМА**

У овом поглављу изведена је анализа карактеристика и фактора појаве бујичних поплава која се потом наставља на разраду хидролошких модела отицаја у сливу. Одабрани су репрезентативни бујични сливови, и то слив Топчидерске реке и слив Топлице.

На избор ових сливова је утицала доступност података пре свега о падавинама детаљне временске резолуције. С обзиром на обим досадашњих студија може се рећи да је први експериментални слив знатно више изучен у односу на други. На избор је такође утицала различитост физичко-географских фактора и карактеристика између ова два слива. Слив Топчидерске реке углавном припада брдској зони и у социо-економском смислу је периурбаног карактера (припада београдској макрорегији), док се слив Топлице налази у вишој, планинској зони (у Централној Србији) и руралног је типа. Бујичне поплаве ових токова заузимају значајно место у Инвентару бујичних поплава у Србији. Већ је споменуто, да с обзиром на то да је слив Топчидерске реке најмањи међу издвојеним у Табели 4., забележен је значајан број догађаја бујичних поплава (34), при чему се у последњих неколико деценија издваја онај из јула 1999. године ( $Q_{\max\text{Раковица}} = 91.35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), док је у сливу Топлице забележено 15 догађаја бујичних поплава, при чему се издваја онај из јула 1986. године ( $Q_{\max\text{Магово}} = 192 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ). Такође, ова два слива су одабрана према програму истраживања у оквиру пројекта „Истраживање климатских промена и њиховог утицаја на животну средину: праћење утицаја, адаптација и ублажавање“, подпројекта бр. 9 „Учесталост бујичних поплава, деградација земљишта и вода као последица глобалних промена.“

## **6.1. Слив Топчидерске реке - профил Раковица**

### **6.1.1. Географски положај**

Топчидерска река се као десна притока улива у Саву у централној зони Београда. Слив Топчидерске реке је највећи речни слив на административном подручју града Београда. Укупна површина слива Топчидерске реке до ушћа у Саву износи 146,45 km<sup>2</sup>.

За разлику од многобројних руралних бујичних сливова који су смештени у брдско-планинским крајевима Централне Србије, слив Топчидерске реке због значајнијег удела вештачких површина сматра се периурбаним сливом. Слив Топчидерске реке подељен је између три београдске општине – Вождовац, Раковица и Савски венац. Насељава га око 160.000 људи у градским, приградским и насељима сеоског типа (Драговић, 2008.). Нижи делови слива припадају урбаној зони Београда, а виши су рурални и служе за потребе пољопривреде, воћарства и шумарства.

Међународни коридор 10, који повезује Средњу Европу са југоистоком, пружа се у непосредној близини слива и упоредо са Топчидерском реком. Од регионалних путева, кроз сливно подручје Топчидерске реке пролази пут Железник–Ресник–Раковица, који ово подручје повезује са аутопутем, и регионални пут који води улицом Војводе Степе преко Авале и спаја се са регионалним путем Мали Пожаревац–Младеновац–Топола–Крагујевац. Кроз сливно подручје Топчидерске реке и његовој непосредној близини пролазе најзначајнији правци у железничком саобраћају (железничка пруга Београд–Ниш, Београд–Ужице–Бар и Батајница–Н.Београд–Пожаревац) који повезују северни са јужним делом Србије.

Сливно подручје Топчидерске реке карактеристично је и по геотермалним изворима на локацији Паригуз, остацима рудника сребра из римског доба у горњем делу слива, израженом индустријском загађењу слива у доњем делу који квалитет воде Топчидерске реке доводи до IV, најниже категорије, по честим

изливањима на локацијама Патин мајдан и железничка станица у Рипњу (Драговић et al., 2008).

#### **6.1.2. Хидрографске и хидролошке карактеристике слива**

Топографска граница слива и речна мрежа у сливу Топчидерске реке (Карта 4.) исцртане су на основу четворобојних топографских карата размере 1:25000, а коришћени су листови Барајево, Београд-запад, Сопот, Сремчица и Авала. За одређивање параметара слива (Табела 6.1.) коришћен је дигитални модел висина типа SRTM резолуције 90 m у ArcGIS програму. Досадашња искуства и експериментални тестови показали су да SRTM модел омогућава квалитетне анализе топографске површине за анализу територије веће од 100 km<sup>2</sup> (Gigović, 2010).

Топчидерска река настаје у близини Парцанског вуса спајањем 3 потока - Дубоки, Шупиловац и Ковионски, који се састају испод превоја Ковиона - Парцански вис код Рипањског вијадукта. Леве притоке - Кијевски поток, Кладинац поток, Сикијевац поток, Радушње поток, Бела река, Паланка (Дучевац) - уливају се у Топчидерску реку у средњем и горњем току. У доњем току Топчидерске реке уливају се углавном десне притоке - Раковички поток, Паригуз, Пречица и Смрдански поток (Слика 6.2.).

Слив Топчидерске реке одликује се благом заталасаношћу и дисекцијом рељефа, са највећом денивелацијом између врха Авале и главног тока где се на непуних 2,5 km удаљености јавља релативна висинска разлика од 390 m, нагиба 15,6 % (Драгићевић et al., 2008.). Слив је брдског карактера и издуженог облика. Највиша тачка вододелнице је 506 m н.в. (врх Авале), а најнижа кота је 87.5 m н.в. на профилу Раковица.

Површина слива који гравитира профилу Раковица ( $A_R$ ) износи 126.87 km<sup>2</sup>. Обим слива или дужина топографске вододелнице Топчидерске реке (O) до профила Раковица износи 60.73 km. Модул развијености вододелнице по Гравелијусу на

основу израза  $E = 0.28 \frac{O}{\sqrt{A}}$  износи 1.51. Просечна ширина слива, која се добија на основу односа површине слива и дужине слива по главном току ( $B = \frac{A}{L}$ ), износи 4.51 km.

Табела 6.1. Параметри слива Топчидерске реке – профил Раковица

Параметар	Вредност	Јединица
A	126.87	km <sup>2</sup>
O	60.73	km
Kv	391.1	m n.v.
Ku	87.5	m n.v.
Hsr	219.85	m n.v.
L	28.14	km
Lc	12.60	km
Ia	1.08	%
Iu	0.48	%
Isr	11.11	%
D	132.39	m
G	1.56	km <sup>2</sup>

Укупна дужина свих водотока у сливу ( $\Sigma L$ ) износи 198.37 km. Слив Топчидерске реке се одликује добро развијеном хидрографском мрежом - густина речне мреже (G) износи 1.56. Дужина слива по главном току, од тачке на вододелници до излазног профила (L) износи 28.14 km, а одстојање од излазног профила, мерено по главном току до тачке у кориту која је најближа тежишту слива (Lc) износи 12.60 km. Апсолутни нагиб дна речног корита Топчидерске реке одређује се на основу разлике коте врха слива K<sub>v</sub> и коте ушћа K<sub>u</sub> према дужини слива по главном току, и износи:  $I_a = \frac{K_v - K_u}{L} = 1.08 \%$ . Уравнати пад дна речног корита добија се на основу следећег израза и износи:  $I_u = \frac{K'_v - K_u}{L} = 0.48 \%$ . Средња надморска висина слива износи 219.85 m n.v., а средња висинска разлика слива која се израчунава као разлика средње надморске висине слива и коте ушћа износи 132.39 m. Средњи пад слива (I<sub>sr</sub>) износи 11.11 %.



Табела 6.2. Време концентracије за слив Топчидерске реке – профил Раковица

Време концентracије - $T_c$	h
$0,502 \cdot A^{0,506}$	5.8
$0,316 \cdot L^{0,933}$	7.1
$0.819 \left( \frac{L \cdot Lc}{\sqrt{Iu}} \right)^{0.376}$	8.6
$0,47 \cdot L^{0,826} \cdot Iu^{-0,127}$	8.1
$0,609 \cdot L^{0,898} \cdot Isr^{-0,17}$	8.0
$0,56 \cdot L^{0,846} \cdot Iu^{-0,084} \cdot Isr^{-0,08}$	8.1

Као што је у поглављу 2.3. објашњено, време концентracије и време кашњења слива могу се израчунати као функција одређених параметара слива користећи утврђене зависности које важе за бујичне токове у Србији (Ристић, 2003; 2006а; 2011). Време концентracије за слив Топчидерске реке (Табела 6.2.), зависно од израза, креће се у интервалу од 5.8 h до 8.6 h, просечна вредност је 7.6 h.

Време кашњења према зависностима у табели 6.3. креће се у интервалу од 5.2 h до 6.1 h, а време опадања хидрограма према зависностима у табели 6.4. креће се у интервалу од 9.9 h до 11.9 h.

Табела 6.3. Време кашњења за слив Топчидерске реке – профил Раковица

Време кашњења - $t_p$	h
$0.751 \left( \frac{L \cdot Lc}{\sqrt{Iu}} \right)^{0.336}$	6.1
$1.399 \left( \frac{L \cdot Lc}{\sqrt{Iu \cdot Isr}} \right)^{0.315}$	5.2
$0,693 \cdot T_c$	5.3

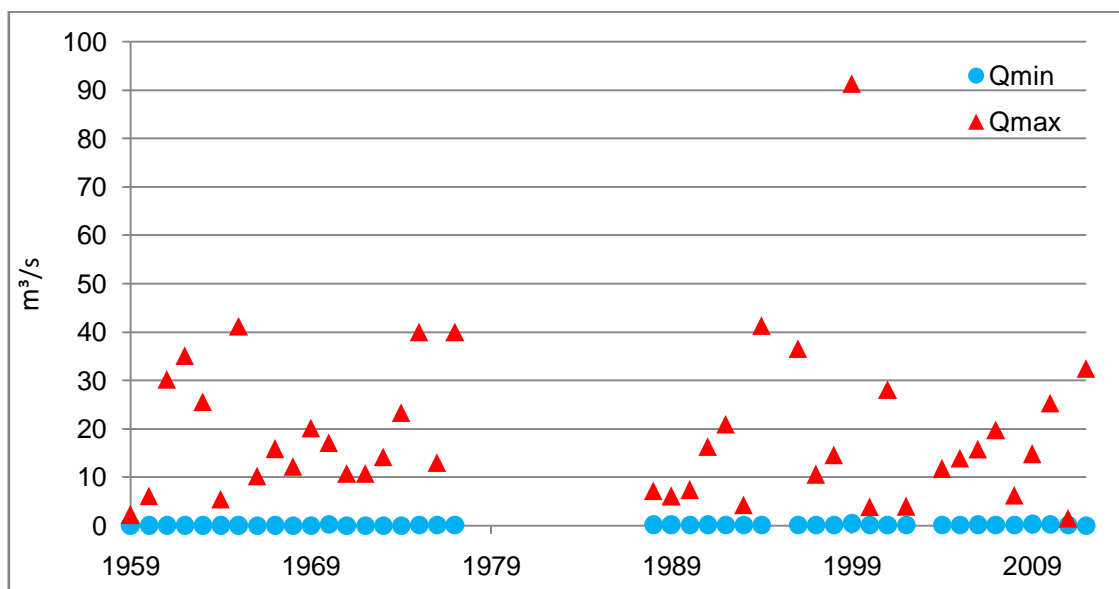
Табела 6.4. Време опадања хидрограма за слив Топчидерске реке – профил Раковица

Време опадања - $T_r$	h
$1.145 \cdot A^{0,446}$	9.9
$L^{0,743}$	11.9

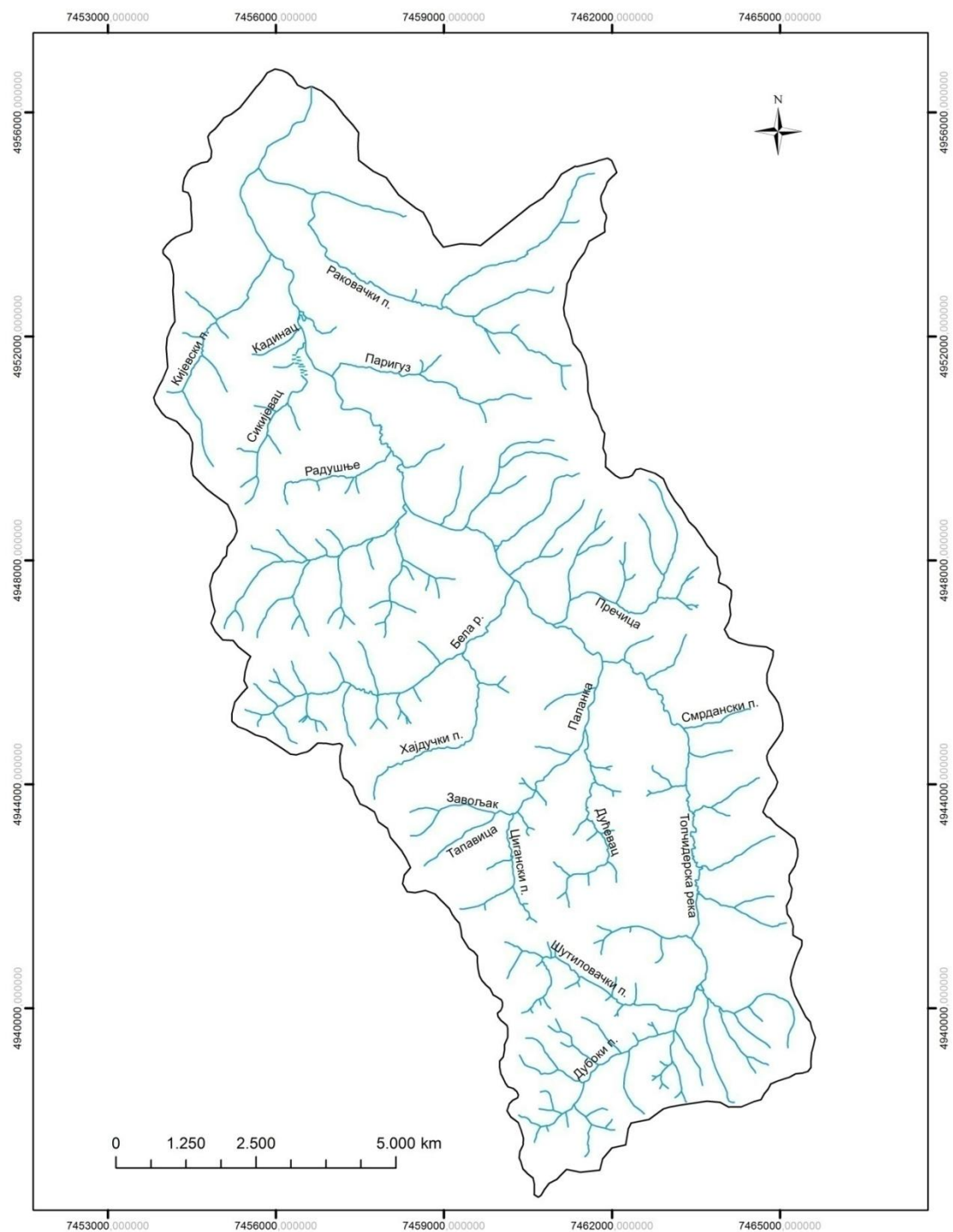
На основу осматрених података дефинисани су основни хидролошки параметри за слив Топчидерске реке (Драгићевић et al., 2008):

- годишња запремина отекле воде,  $W_0 = 13.500.000,00 \text{ m}^3 \text{ god}^{-1}$
- средњи годишњи протицај,  $Q_{sr} = 0,43 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
- специфични отицај,  $Q_{sp} = 0,003 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$
- максимални протицај вероватноће појаве  $p = 1\%$ ,  $Q_{1\%} = 136,34 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
- максимални протицај вероватноће појаве  $p = 2\%$ ,  $Q_{2\%} = 111,42 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
- максимални протицај вероватноће појаве  $p = 5\%$ ,  $Q_{5\%} = 83,56 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Редовно и наменско осматрање РХМЗС-е у сливу Топчидерске реке почиње 1958. године. Године 2010. почело је осматрање водостаја и количине падавина модерним мониторинг системом. Измерене вредности параметара на локацијама постављених апарата шаљу се путем бежичне технологије централном софтверу и SMS-ом надлежнима за заштиту од поплава. Током овог мониторинг периода није дошло до појаве значајнијих максималних протицаја. Подаци након низа година мерења свакако могу имати значај у хидролошким прорачунима.



Слика 6.1. Карактеристични годишњи протицаји Топчидерске реке, профил Раковица



Слика 6.2. Речни систем Топчидерске реке

На основу слике 6.1. о минималним и максималним годишњим протицајима и видно израженог дисбаланса малих и великих вода (у случају 1999. године тај однос је 1:230.68), може се закључити о бујичном режиму отицаја воде у сливу Топчидерске реке, што је такође одлика и њених притока.

### 6.1.3. Климатске карактеристике слива

Клима сливног подручја Топчидерске реке је умерено континенталног типа са средњом годишњом температуром ваздуха од око 12 °C и просечном годишњом количином падавина од око 700 mm (Табела 6.5. и 6.6.). Најтоплији је месец јули, а најхладнији месец је јануар. У последњим годинама ређе су оштре зиме, док се топли период са летњим температурама ваздуха продужава. Тако су пролеће и јесен знатно скраћени, а лето и зима продужени. Доминантан ветар је југоисточни који се популарно назива кошава. Најчешће се јавља у првом тромесечју године, а најмање у периоду јуни и јули. Западни ветар је други по значају и најчешћи у јулу. Међутим, обично доноси обилне и интензивне кише које условљавају генезу бујичних поплавних таласа у сливу.

Табела 6.5. Средње месечне вредности температура ваздуха у °C за метеоролошке станице

Станица	Период	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Карађ. парк	1982.-2012.	1.5	2.8	7.6	13	18.1	21.2	23.2	23	18.3	12.9	7.2	2.7
Кошутњак	1989.-2012.	1.3	3	7.7	12.6	17.6	20.9	23	22.9	17.9	12.9	7.5	2.3

Извор: Из фонда података РХМЗС-е

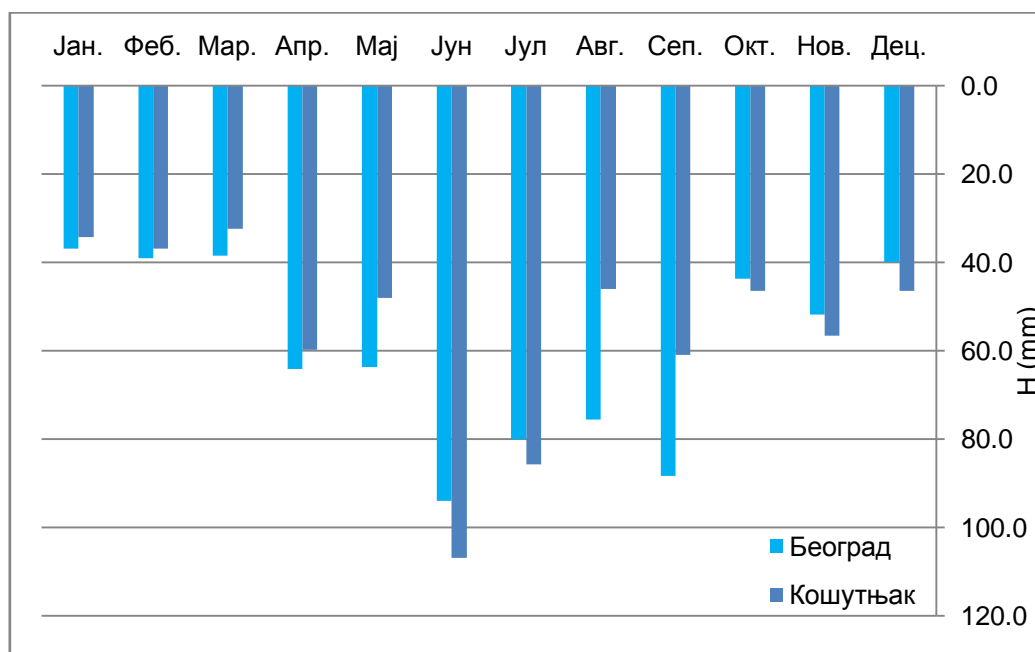
Табела 6.6. Средње месечне и средње годишње вредности падавина у mm за метеоролошке станице (исти периоди осматрања)

Станица	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год.
Карађ. парк	43.8	45.6	45.2	55.1	68.8	95.9	65.4	54.1	53	46.9	57.7	58.8	694.7
Кошутњак	46.9	43.2	43.6	50.2	57.2	85.6	68.2	61.1	67.2	51.8	51.6	61.7	688.4

Извор: Из фонда података РХМЗС-е

Најкишовитији месеци су јун, мај и јул према подацима регистрованим на станици Карађорђево парк, односно јун, јул и септембар према подацима забележеним на станици Кошутњак. Према слици 6.3., апсолутно максималне дневне висине падавина забележене на обе станице највеће су у јуну месецу, а потом јулу и септембру за станицу Кошутњак, односно септембру и јулу за станицу Карађорђево парк. Претпоставља се да су апсолутно максималне дневне

висине падавина, нарочито у летњој половини године, узимајући у обзир висину падавина која се креће у опсегу од преко 15 mm до преко 100 mm која су излучене у року од 24 часа, изазивале појаву поплавних таласа. Тако, на пример, приказане апсолутно максималне дневне количине падавина за месец јул за цео период осматрања представљају јаке пљускови који су условили појаву чувеног поплавног таласа Топчидерске реке ( $Q_{\max} = 91.35 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) 10. јула 1999. године.



Слика 6.3. Приказ апсолутно максималних дневних висина падавина по месецима забележених на главној метеоролошкој станици Београд (Карађорђевог парка) у периоду 1936. – 2012. и на станици кишомерној Кошутњак у периоду 1989.-2012.

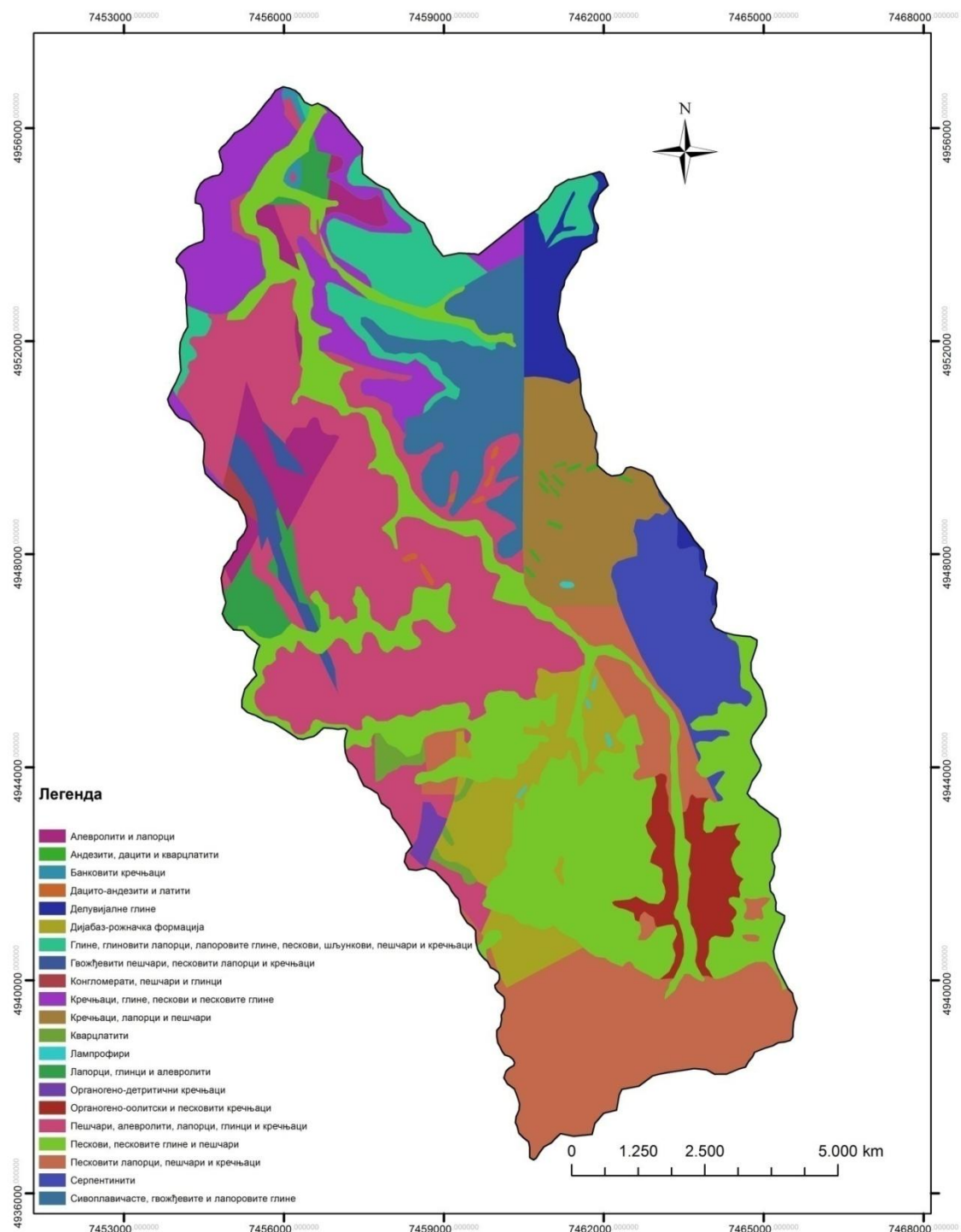
#### 6.1.4. Геолошке карактеристике слива

За идентификацију геолошких карактеристика слива Топчидерске реке коришћене су основне геолошке карте размере 1:100.000 и тумачи за листове Београд, Обреновац, Смедерево и Панчево у издању Геолошког завода Србије.

У литолошком и стратиграфском смислу, слив Топчидерске реке карактеришу веома разноврсне стене (Слика 6.4., Табела 6.6.). Седиментне стене су знатно више заступљене у односу на магматске и метаморфне стене. Најстарије стене у сливном подручју Топчидерске реке су јурске старости. Међутим, стене углавном припадају креди и неогену, а у површинским деловима квартару.

Са леве стране Топчидерске реке на тремеђи листова Београд, Обреновац и Смедерево развијена је флишоплика серија којој је на основу микрофаунистичких података одређена старост малма-неокома а изграђена је од лапораца, глинаца и пешчара. Турон-сенонски седименти изграђени су од лапоровито–песковитих кречњака, песковитих лапораца и ређе пешчара. Даци и кварцлатити у воду жица пробијају седimente око Топчидерске реке у средњем делу слива. Лампрофири простиру се у подножју Космаја и у атару села Рипањ где се због квалитета користе као грађевински материјал.

Добар део неогених седимената и серпентинита покривен је делувијалним глинама алевритско-глиновитог састава где је садржај глиновите фракције око 25%. Творевине холоцена, које су распрострањене у оквиру алувијалних равни Топчидерске реке, представљене су седиментима флувијалног генетског типа, односно фацијама корита, тј. песковима са примесама глиновите и алевролитичне компоненте, дебљине између 5 и 10 m. Фацију корита чине пескови са примесама глиновите и алевротичне компоненте, код којих је утврђена фина стратификација и правилност у седиментацији и фацијалном распореду.



Слика 6.4. Геолошка карта слива Топчидерске реке – профил Раковица

Табела 6.6. Геолошки састав у сливу

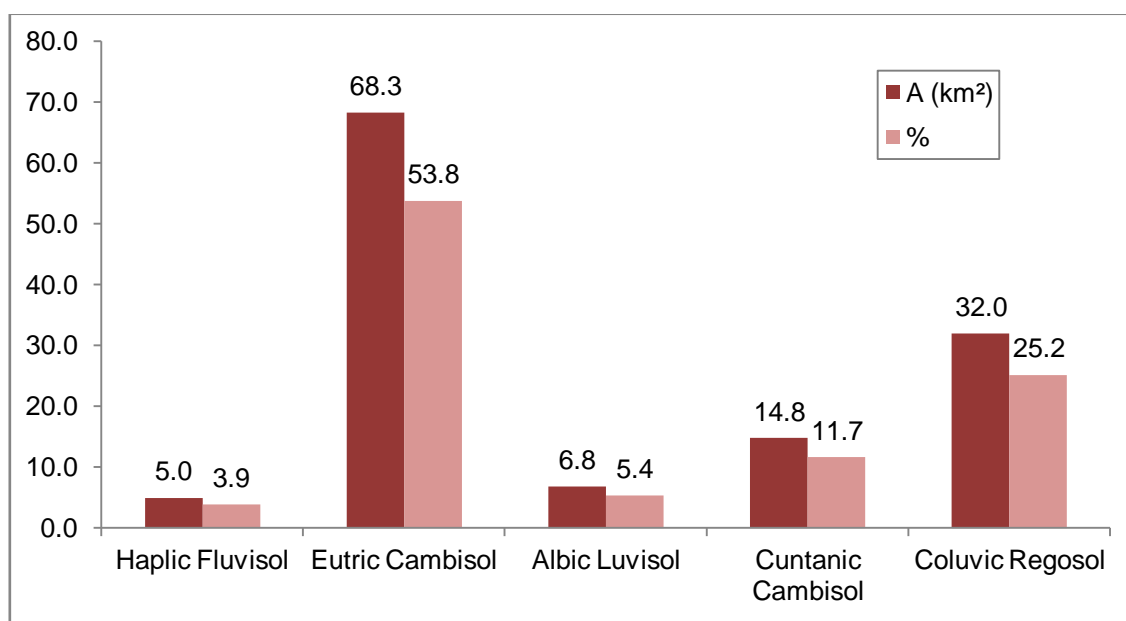
Бр.	Геолошка основа	A (km <sup>2</sup> )	%
1.	Алевролити и лапорци	3.09	2.43
2.	Андезити, дацити и кварцлатити	0.19	0.15
3.	Банковити кречњаци	0.23	0.18
4.	Дацито-андезити и латити	0.16	0.13
5.	Делувијалне глине	2.85	2.25
6.	Дијабаз-рожначка формација	5.88	4.63
7.	Глине, глин. лапорци, лапор. глине, пескови, пешчари и кречњаци	6.20	4.88
8.	Гвожђевити пешчари, песковити лапорци и кречњаци	1.52	1.20
9.	Конгломерати, пешчари и глинци	0.25	0.20
10.	Кречњаци, глине, пескови и песковите глине	7.97	6.28
11.	Кречњаци, лапорци и пешчари	7.27	5.73
12.	Кварцлатити	0.67	0.53
13.	Лампрофири	0.09	0.07
14.	Лапорци, глинци и алевролити	2.05	1.62
15.	Органогено-детритични кречњаци	0.43	0.34
16.	Органогено-оолитски и песковити кречњаци	3.44	2.71
17.	Пешчари, алевролити, лапорци, глинци и кречњаци	26.99	21.27
18.	Пескови, песковите глине и пешчари	28.24	22.26
19.	Песковити лапорци, пешчари и кречњаци	16.52	13.02
20.	Серпентинити	5.85	4.61
21.	Сивоплавичасте, гвожђевите и лапоровите глине	6.98	5.50

#### 6.1.5. Педолошке карактеристике

Типови земљишта и њихове карактеристике, заступљени у сливу Топчидерске реке издвојени су на основу дигитализоване педолошке карте Института за земљиште у Београду (1963) и студије Драговић et al. (2008). У сливу Топчидерске реке до профила Раковица доминантно је заступљена гајњача (са 53,83%), а присутни су и њени варијетети - гајњача у лесивирању, гајњача лесивирана, као делувијални и алувијални наноси (Слика 6.5. и 6.6.), чији су називи дати и према WRB класификацији земљишта (2011).

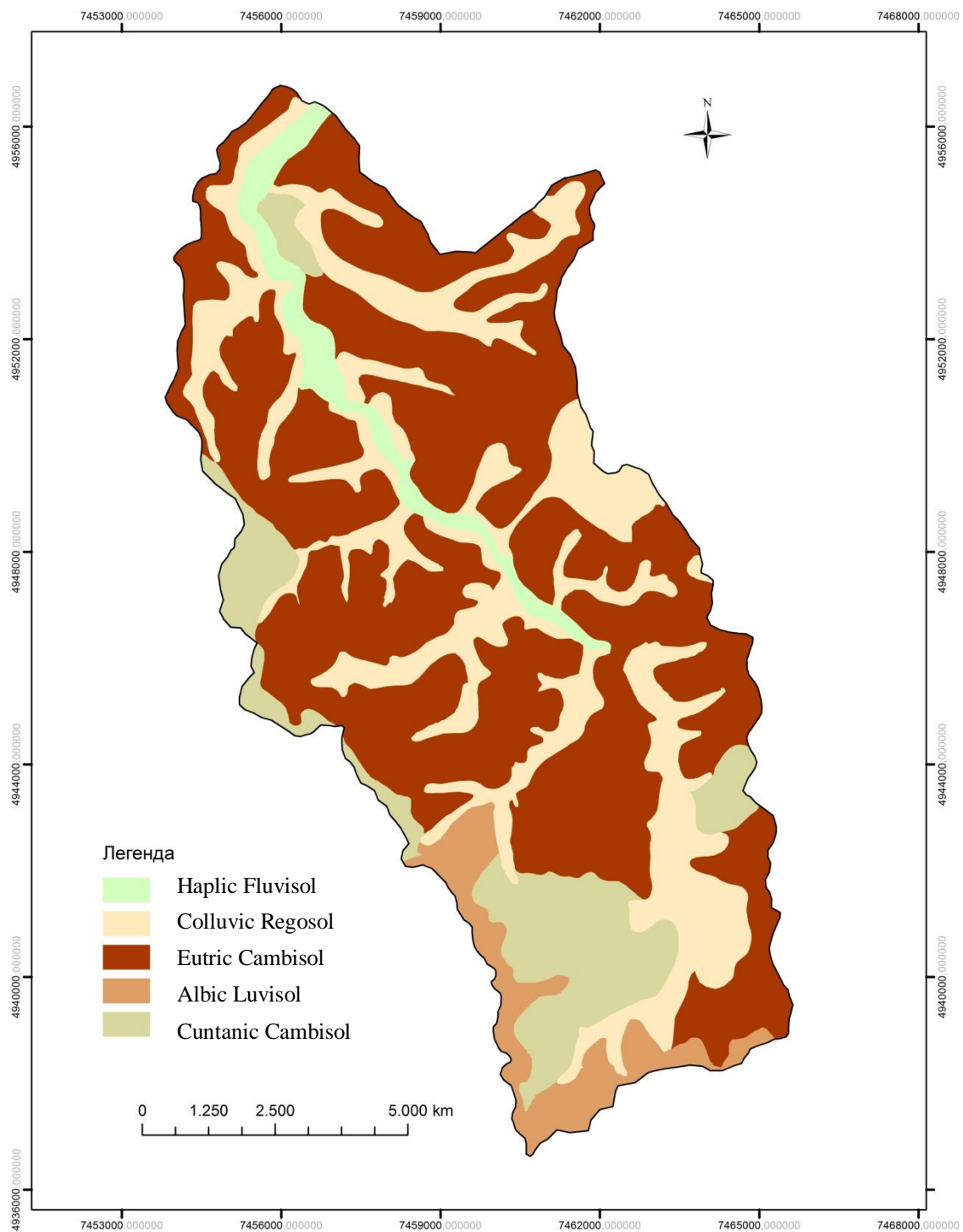


Еутрично смеђе земљиште на глиновитим језерским седиментима (Eutric Cambisol), односно гајњача је у сливном подручју Топчидерске реке углавном било шумско земљиште, тј. дуго је било под заштитом шумске вегетације. Потом је масовно претварано у пољопривредно земљиште, при чему су режими начина коришћења и микроклимата значајно измењени, а само земљиште подвргнуто процесима деградације. Гајњача је тип земљишта који лако подлеже испирању јона из адсорптивног комплекса уласком Н јона и закисељавању средине, а истовремено долази до испирања органских и минералних колоида. У сливу Топчидерске реке заступљени су и њени варијетети - еутрично смеђе земљиште, илимеризовано (Cuntanic Cambisol (Eutric)), односно гајњача у лесивирању и илимеризовано земљиште на глиновитим језерским седиментима, реголитично, глиновито (Albic Luvisol (Endoeutric)), односно лесивирана гајњача.



Слика 6.5. Педолошки састав слива Топчидерске реке – профил Раковица

Делувијално (колувијално) земљиште, еутрично, глиновито (Colluvic Regosol (Eutric, Clayic)) може се срести у подножју нагиба, а зависно од степена нагиба и климатских услова може бити врло плитак или врло дубок. Колувијални наноси сврставају се у класу неразвијених земљишта типа (A)-C, у реду аутоморфних земљишта и немају изражену структуру. Тамо где су повољни услови за ерозионе процесе, стварају се и проширују површине под колувијалним наносима.



Слика 6.6. Педолошка карта слива Топчидерске реке – профил Раковица

Алувијално земљиште (Fluvisol), некарбонатно, глиновито (Haplic Fluvisol (Eutric, Clayic), односно алувијални нанос иловести јавља се поред главног тока Топчидерске реке. Са уништавањем шума и појачаном ерозијом у сливу, али и

бочном ерозијом у речном кориту дошло је до затрпавања ранијих хидрогених земљишта плићим или дубљим наносом.

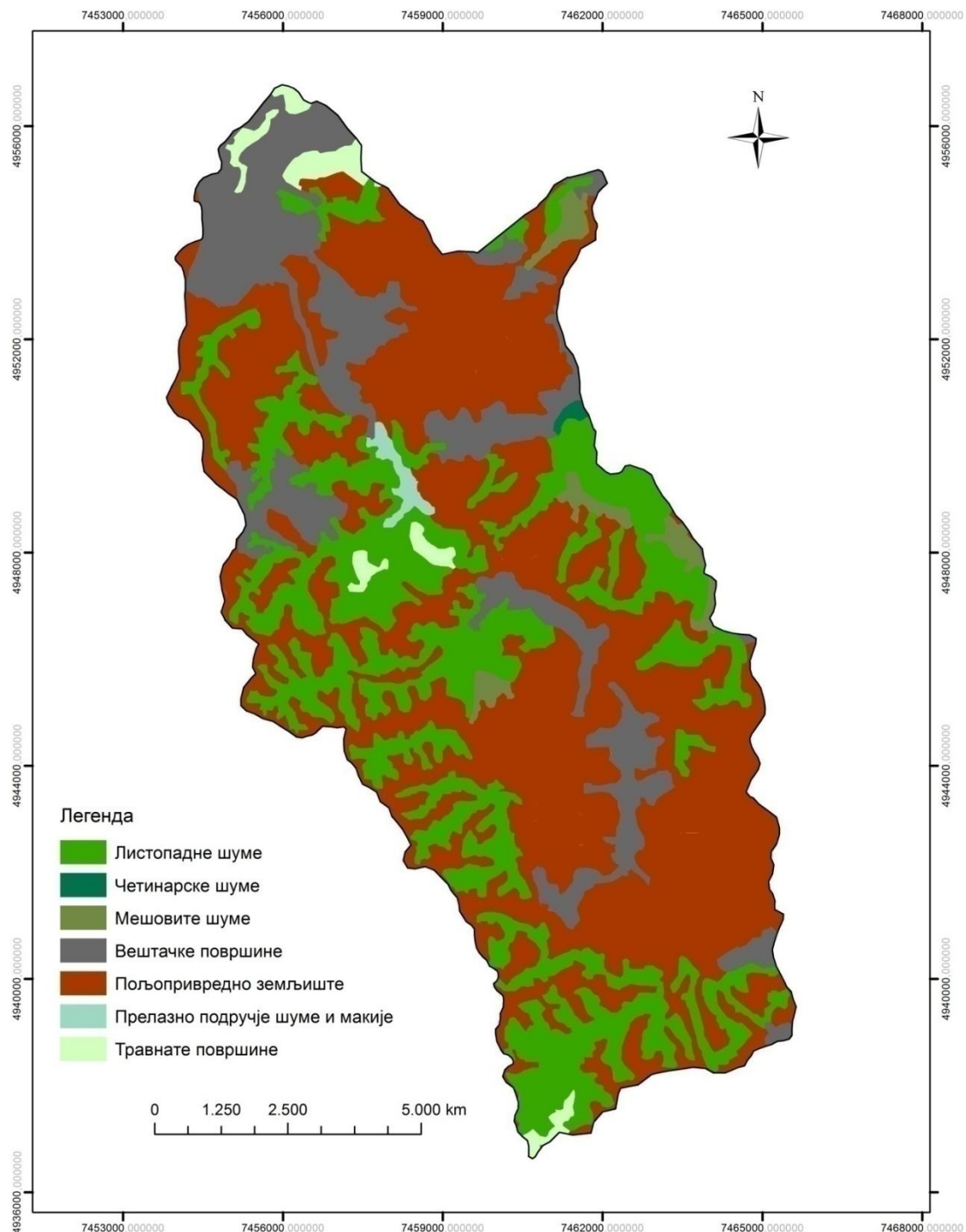
#### **6.1.6. Начин коришћења и вегетационе карактеристике**

Структура начина коришћења земљишта и карактеристике вегетације у сливу представљене су на основу дигитализоване карте CORINE (2006.) и студије Драговић et al. (2008.). Начини коришћења земљишта су груписани према потребама за ово истраживање, односно развој хидролошког модела (Слика 6.7. и 6.8.).

Насеља, индустрија и саобраћајнице и њима припадајуће земљиште, места експлоатација минералних сировина чине готово 16% површине слива. У сливном подручју Топчидерске реке постоје традиционална воћарска и виноградарска подручја. Пољопривредно земљиште обухвата оранице и баште, воћњаке и винограде. Шуме слива Топчидерске реке карактерише средње густа приземна флора и средње густ коров. Надморске висине на којој се простиру шуме су у распону од 110 до 430 метара.

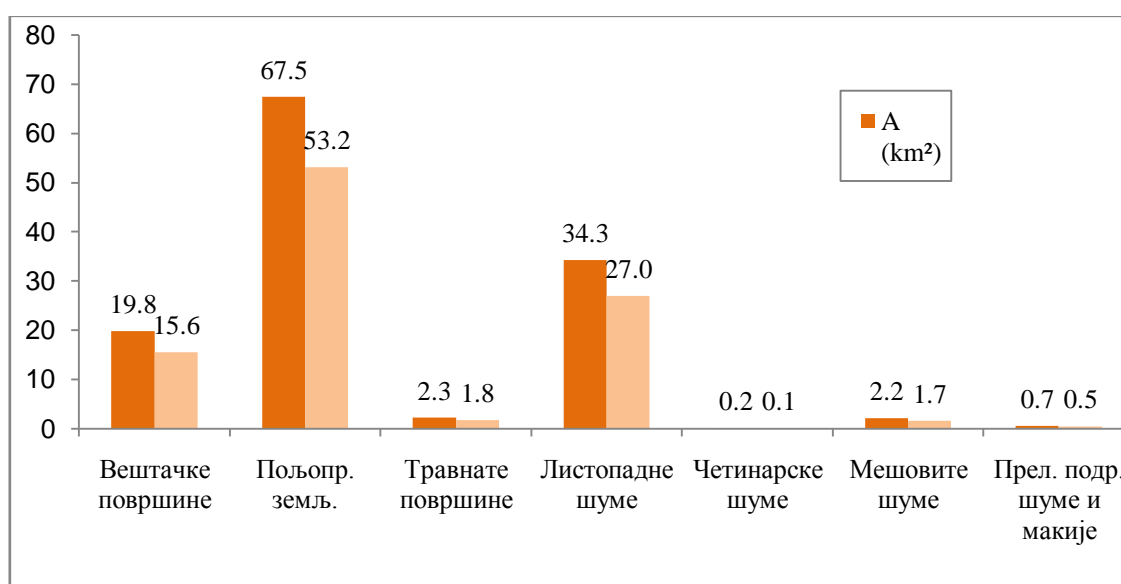
Шуме у сливу Топчидерске реке су највећим делом изданачког порекла, претежно друге генерације, а мањи део чине вештачки подигнуте састојине храста лужњака и осталих лишћарских и четинарских врста. У сливном подручју Топчидерске реке заступљене су следеће заједнице (Драговић et al., 2008): заједница лужњака и пољског јасена (*Quercus-Fraxinetum angustifoliae Ruski*), заједница граба и китњака (*Quercus-Carpinetum serbicum Rud.*), заједница граба и китњака са лужњаком (*Robor-Quercus-Carpinetum Job. et Vuk.*), заједница претпланинске букве - *Fagetum submontanum Job.*, заједница сладуна и цера (*Quercetum-Farnetto-Cerris Rud.*), заједница сладуна и цера са грабом (*Carpino-Quercetum farnetto-Cerris (Rud.) Gajić*), заједница сладуна и цера са црним јасеном (*Orno-Quercetum farnetto-Cerris Prov.*), заједница цера и ситне границе (*Quercetum cerris-virgilianae Jov. et Buk.*), заједница цера (*Quercetum cerris-virgilianae serpentinum Jov. et Buk.*), заједница

црног јасена (*Orno-Quercetum virgilianae* Gajić.), заједница ситне границе са грабићем (*Quercus-Carpinetum orientalis*), заједница црног бора (*Pinetum nigrae*).



Слика 6.7. Начин коришћења земљишта у сливу Топчидерске реке – профил Раковица

Поред наведених шумских асоцијација, у сливу Топчидерске реке налазе се и вештачки подигнуте културе на мањим површинама, као што су: вештачки подигнута састојина багрема, у којима је присутна велика угроженост од човека и инсеката; вештачки подигнута састојина белог и црног бора, слабог здравственог стања; вештачки подигнута састојина четинара (кедар, боровац, црни бор), осредњег здравственог стања, и састојина четинара (дуглазија); вештачки подигнута састојина осталих лишћара (сребрна липа, ситнолисна липа, лужњак) (Драговић et al., 2008).



Слика 6.8. Начин коришћења земљишта у сливу Топчидерске реке – профил Раковица

#### 6.1.7. Ерозија у сливу

У сливу Топчидерске реке присутан је процес ерозије земљишта врло слабог, слабог, средњег и јаког интензитета (Табела 6.7.; Слика 6.10.), према класификацији С. Гавриловића (Драгићевић, 2002; Драговић, 2008). Друга категорија интензитета, односно јака ерозија најзаступљенија је у горњем делу слива на стрмим падинама без шумског прекривача, а јавља се у виду браздасте, јаружасте и површинске ерозије и на појединим деловима у виду клизишта.

Трећа категорија, односно ерозија средњег интензитета присутна је у готово свим деловима слива, посебно на ораничним површинама и на стрмијим падинама у облику површинске али и браздасте и јаружасте ерозије. Слаба ерозија (IV категорија разорности) захвата највећи део слива, а распрострањена је на обрадивим површинама на падинама блажих нагиба и на површинама под шумом. Врло слаба ерозија јавља се на површинама под шумским покривачем доброг склопа. Средњи коефицијент ерозије у сливу Топчидерске реке (Z) износи 0,38 и указује на слабу ерозију.

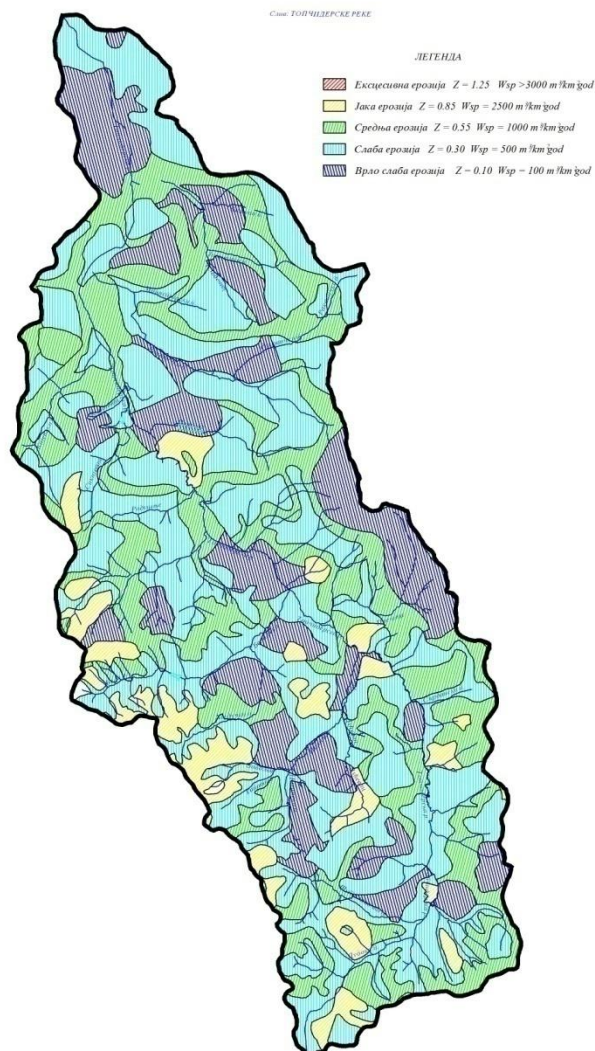
Табела 6.7. Ерозија у сливу Топчидерске реке

Категорија ерозије	%
I	-
II	7,78
III	28,80
IV	43,75
V	19,67
Укупно	100

Извор: Костадинов et al., 2008.

Процес површинске ерозије представља равномерно одношење површинског слоја земљишта, а најинтензивнији је на стрмим падинама током интензивних падавина или наглог топљења снега. Површинска ерозија у сливу Топчидерске реке заступљена је на локалитетима Јајинаца, Ресника, Раковице и Пиносаве, а браздаста ерозија се јавља у Раковици, Белом Потоку, Реснику, Кијеву, Пиносави, Рипњу, Раљи, Парцану и Зуцу. Јаружаста ерозија распрострањена је у атарима села Кнежевац, Кијево, Парцана, у сливу Кијевског потока и на падинама Хајдучког потока (Драгићевић, 2002; Драговић, 2008). За разлику од браздасте ерозије, појава јаруга и вододерина на споменутим теренима онемогућава коришћење земљишта у сврху пољопривреде. Појава клизишта у сливу Топчидерске реке, у оклини Белог Потока, Зуца и Рипња, указује на присутност најтежег облика дубинске ерозије. Њихова појава углавном је везана за подручје неогених седимената где обично нема заштитне вегетације чиме је омогућено

клизање преко напвашене геолошке подлоге, најчешће непропустљиве глине (Драгићевић, 2002; Драговић, 2008).



Слика 6.10. Карта ерозије у сливу Топчидерске реке  
Извор: Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд

Око 40% речних обала Топчидерске реке регулисано је применом градског типа регулације са призматичним, обложеним коритом и тиме заштићено од ме́родавних великих вода. Међутим, да би Топчидерска река могла безбедно да прими и спроведе стогодишње велике воде, корито би требало да буде у првобитно пројектованом стању, односно редовно чишћено и одржавано. То, међутим, није случај - корито Топчидерске реке на знатном делу тока кроз



општину Савски Венац зарасло је у коров и вегетацију, нанос се у кориту таложи, што неминовно доводи до изливања вода из корита и то много мањих од пројектованих стогодишњих.



Слика 6.11. а) Бочни прелив на ретенцији „Бела река“ на Белој реци; б) Ретенција „Бела река“ на Белој реци в) Регулација Раковачког потока код манастира Раковица (Фото: С. Костадинов, А. Петровић)

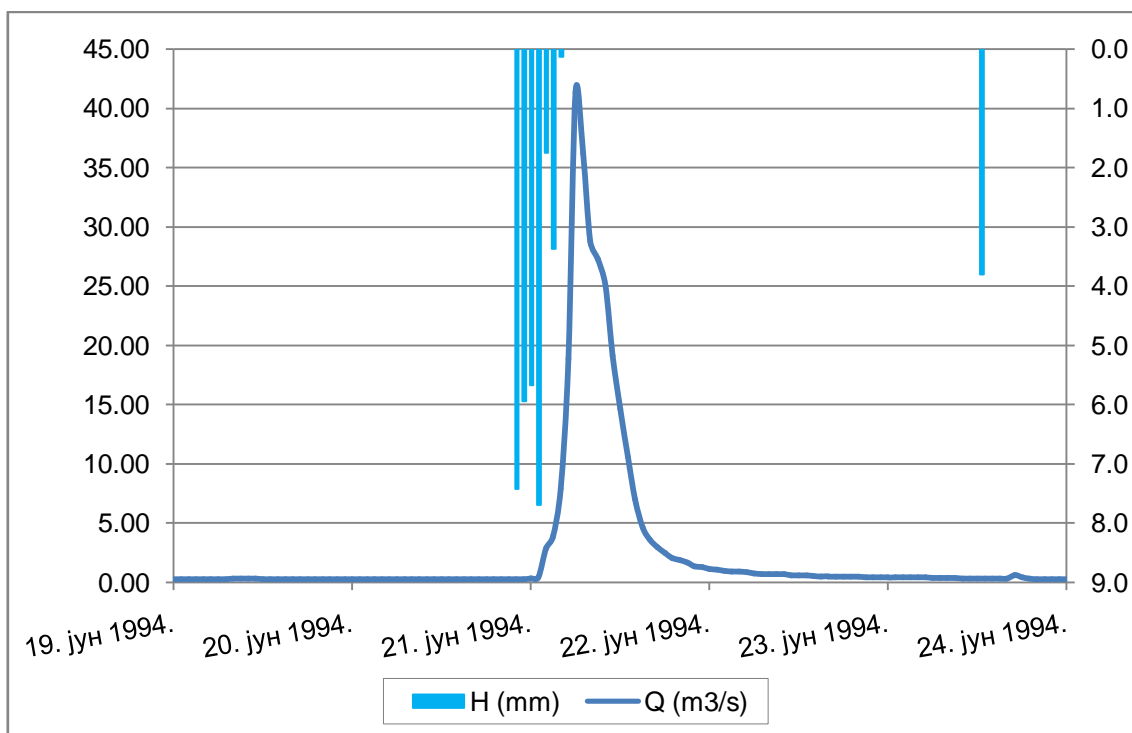
На узводном сектору корито није регулисано тако да је природно речно корито малих димензија и обрасло, док бројне дивље депоније отпада у речном кориту додатно погоршавају стање. У горњем току Беле реке (Слика 6.11.), једне од значајнијих притока Топчидреске реке, изграђена је ретенција са основном наменом задржавања поплавног таласа, а доњи ток водотока регулисан је обложеним коритом. На потоку Паригуз код Ресника изграђена је микроакумулација „Ресник“ чија је намена првенствено рекреативна. Пошто у



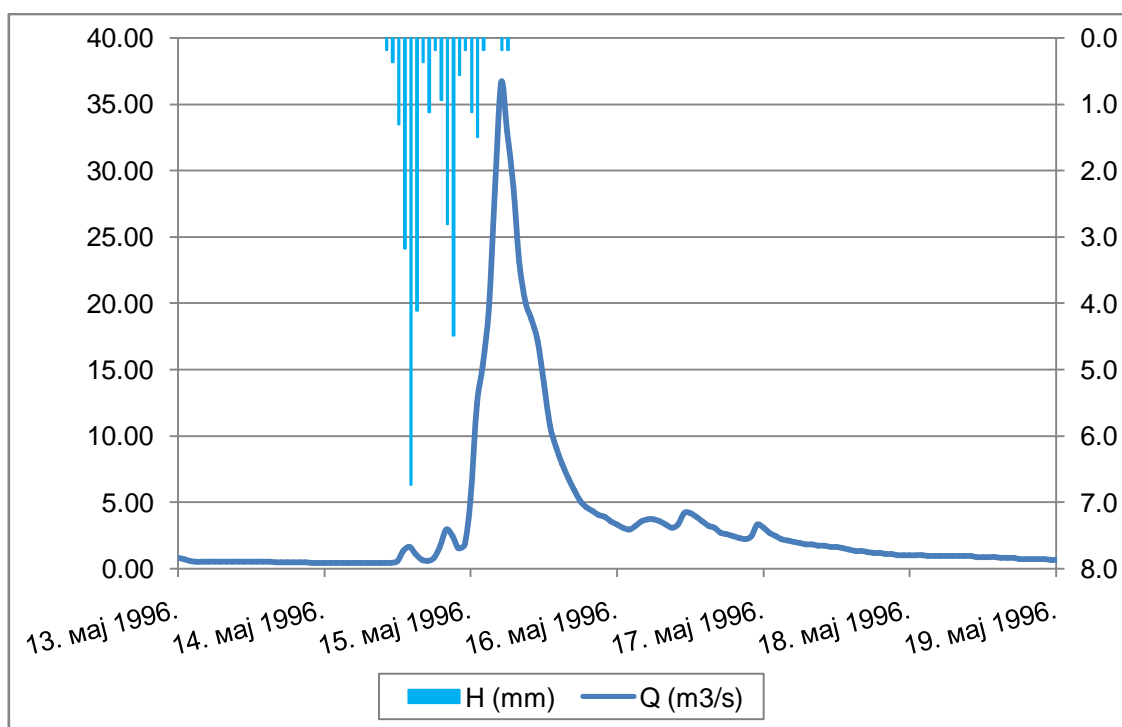
сливу потока Паригуз нису предузети никакви противерозиони радови, врло брзо после изградње насуте бране микроаккумуляција „Ресник“ је засута наносом (Драгићевић et al., 2008).

#### **6.1.8. Припрема релевантних података за развој хидролошког модела отицаја**

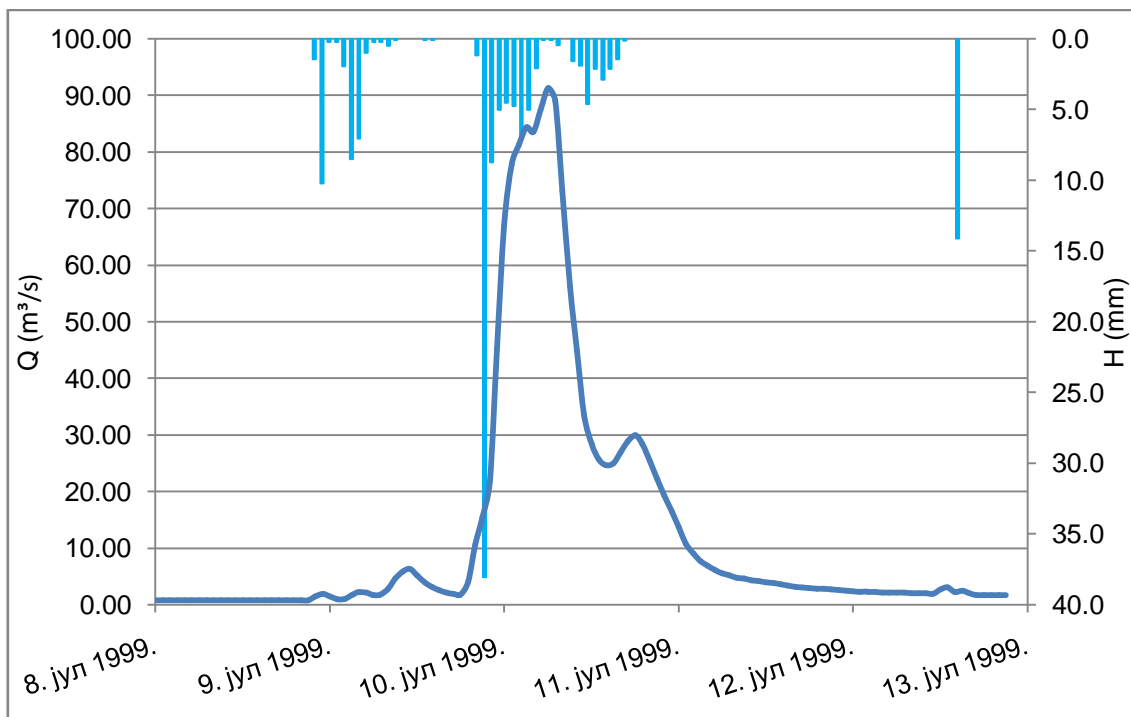
Геолошке и педолошке карактеристике и начин коришћења земљишта, односно вегетационе карактеристике у сливу Топчидерске реке приказане су у форми GRID-них матрица са кодовима за сваки тип геолошке основе, тип земљишта и начин коришћења земљишта, односно тип вегетације, као што је представљено у подпоглављу 3.4. Тако је свакој GRID-ној ћелији додељен одговарајући тип геолошке подлоге, тип земљишта и начин коришћења земљишта. За симулацију отицаја у време поплавних таласа у сливу Топчидерске реке до профила Раковица узети су карактеристични хидрограми (Слика 6.12.-6.15.), који су издвојени на основу серије података о протицају на хидролошком профилу Раковица, и часовне вредности меродавних кишних падавина, које су условиле појаву поплавног таласа. У наставку следи приказ репрезентативних хидрограма код којих се може издвојити узлазна грана великог нагиба, затим врх, односно максимум хидрограма и опадајућа, односно рецесиона грана хидрограма.



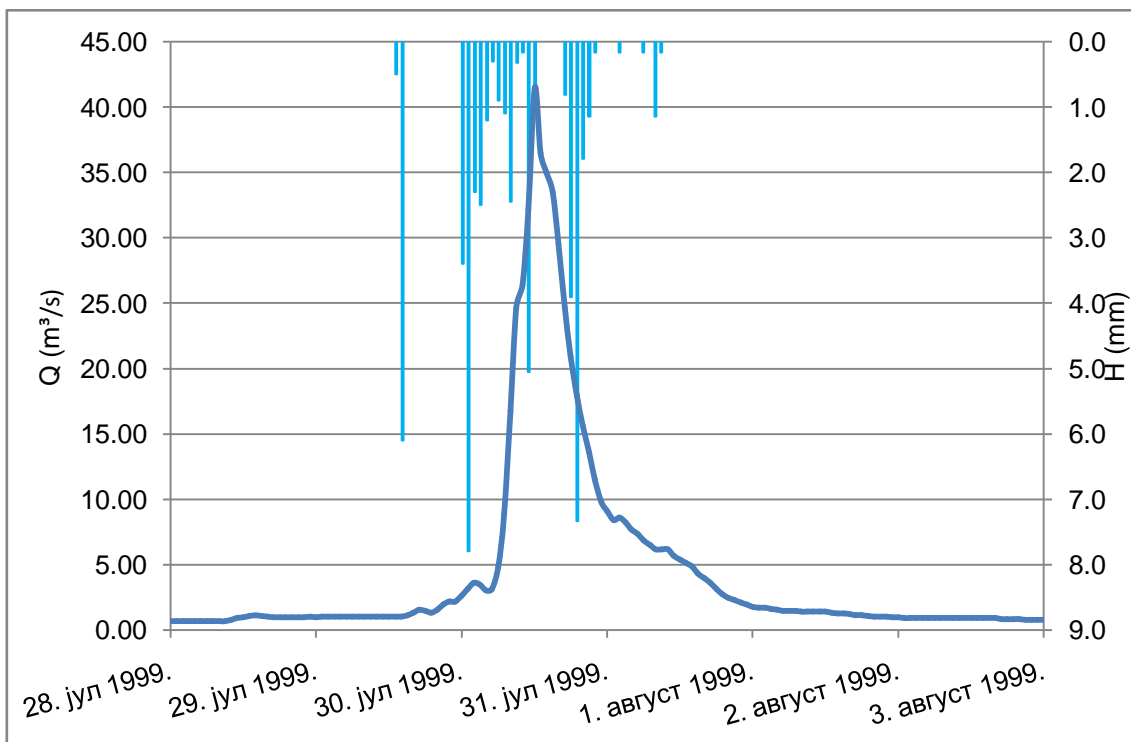
Слика 6.12. Кишна епизода и хидрограм поплавног таласа Топчидерске реке из 1994.



Слика 6.13. Кишна епизода и хидрограм поплавног таласа Топчидерске реке из 1996. године



Слика 6.14. Кишна епизода и хидрограм поплавног таласа Топчидерске реке из 1999. године (1)



Слика 6.15. Кишна епизода и хидрограм поплавног таласа Топчидерске реке из 1999. године (2)

За анализу хидрограма поплавних таласа коришћен је програм BFI, аутора Wahl, K. L. и Wahl, T. L., помоћу кога су раздвојени базни отицај и директни отицај (Слика 6.16.-6.19.) од укупног отицаја за наведене поплавне таласе. Овај компјутерски програм се широко користи у хидролошкој пракси широм света и код нас, и замењује дуго коришћени графо-аналитички поступак. Као резултат добија се индекс базног отицаја и величине запремине базног и укупног отицаја. Добијени облици хидрограма директног отицаја су готово идентични хидрограмима укупног отицаја, међутим, њихова запремина је умањена за запремину базног отицаја.

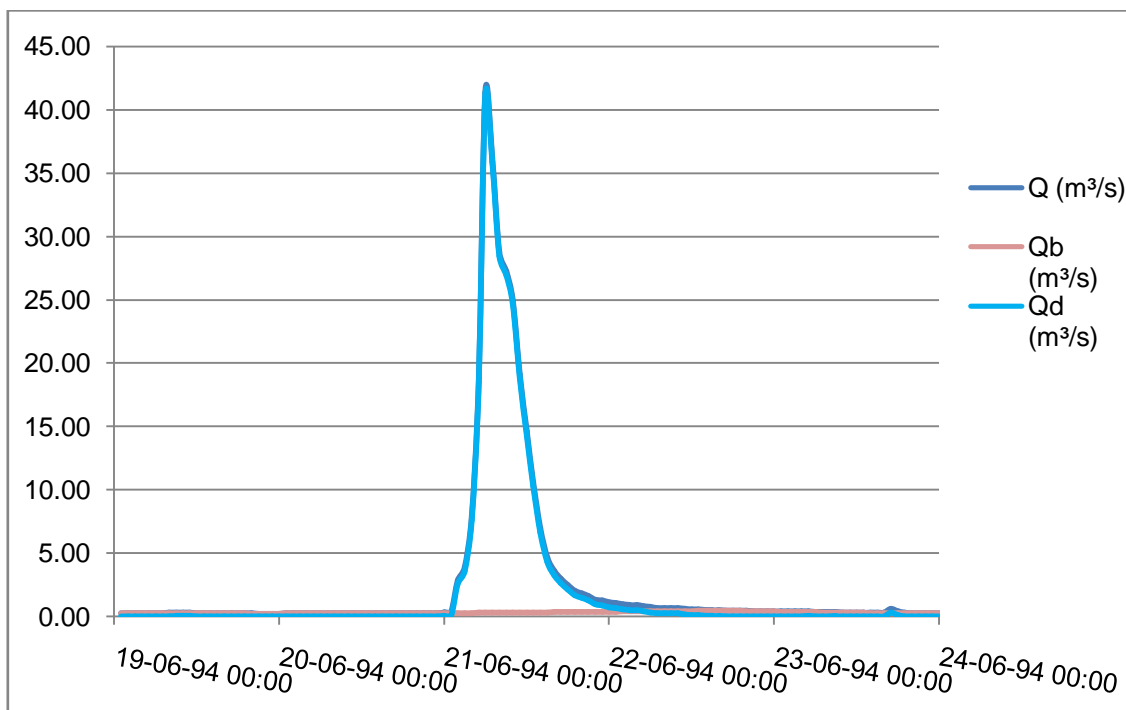
На основу хидрограма, може се закључити да у налету појаве поплавног таласа доминантан део хидрограма укупног отицаја представља директан отицај, што је последица јаких, интензивних киша. Супротно томе, у осталим периодима у току године без падавина, тј. рецесионом делу године, доминира базни отицај (Ђukić, 2006; Ђukić, 2012b; Ђukić, 2012c; Никић, 2012). Базни отицај највише је учествовао у укупном отицају поплавног таласа из 1996. године (0.373), а најмање у укупном отицају поплавног таласа 10. јула 1999. године (0.114) (Табела 6.8.).

Табела 6.8. Неке карактеристике репрезентативних поплавних таласа Топчидерске реке

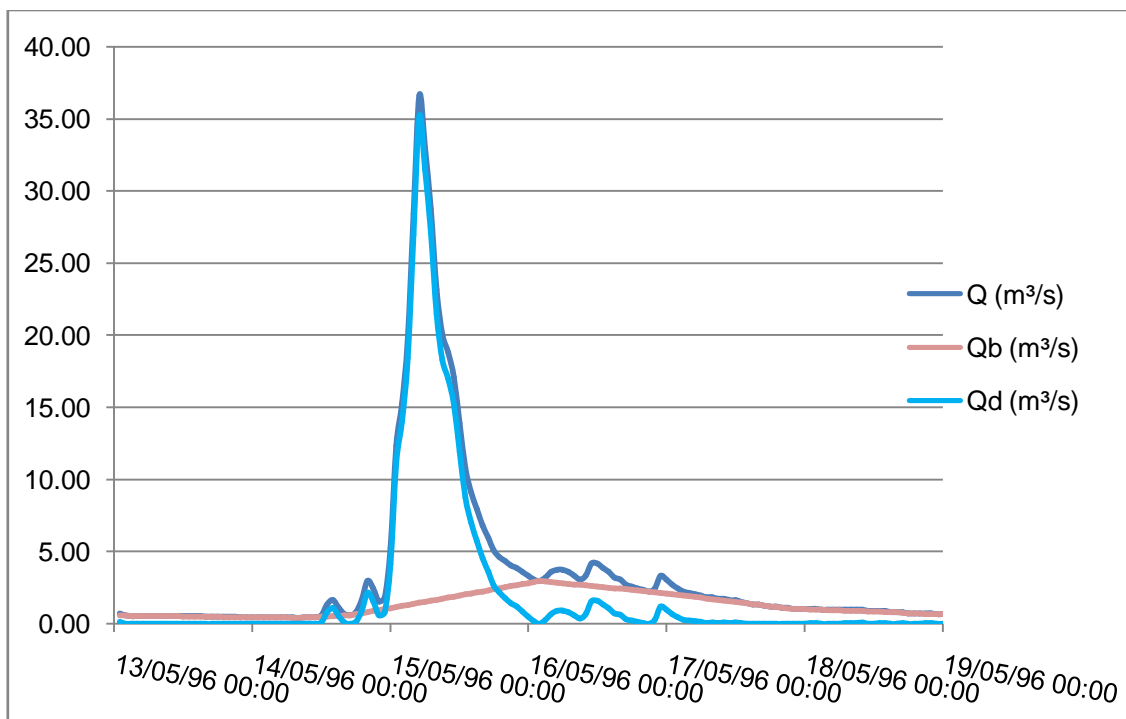
Период	$W_d$ ( $10^6 \text{ m}^3$ )	$Q_{dmax}$ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	$W_b$ ( $10^6 \text{ m}^3$ )	$Q_{bmax}$ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	$W_t$ ( $10^6 \text{ m}^3$ )	BFI ( $W_b/W_t$ )	$Q_{max}$ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	$q_{maxsp}$ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ )
19.-23.06.1994.	22.86	41.042	3.24	0.464	26.10	0.124	41.34	0.33
13.-18.05.1996.	27.78	35.166	16.50	2.975	44.28	0.373	36.63	0.29
08.-12.07.1999.	113.67	89.520	14.60	2.072	128.27	0.114	91.35	0.72
28.7.-2.8.1999.	42.87	40.290	13.44	1.537	56.31	0.239	41.50	0.33

То такође значи да је запремина базног отицаја ( $W_b$ ) у поплавном таласу из 1996. године имала највећи удео у укупној запремини отицаја ( $W_t$ ), а у поплавном таласу 10. јула 1999. године највећи удео у укупној запремини отицаја имала је запремина директног отицаја ( $W_d$ ). Специфични максимални протицај ( $q_{maxsp}$ )

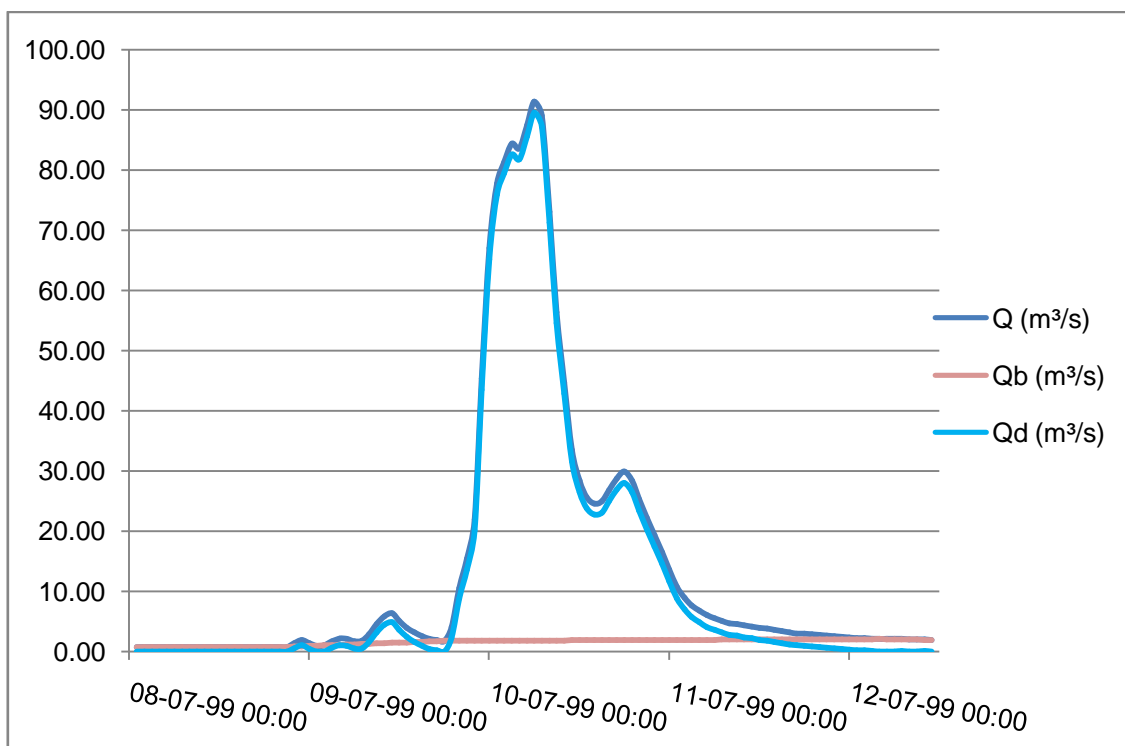
највећи је у случају поплавног таласа из јула 1999. године (0.72), а најмањи из 1996. године (0.29).



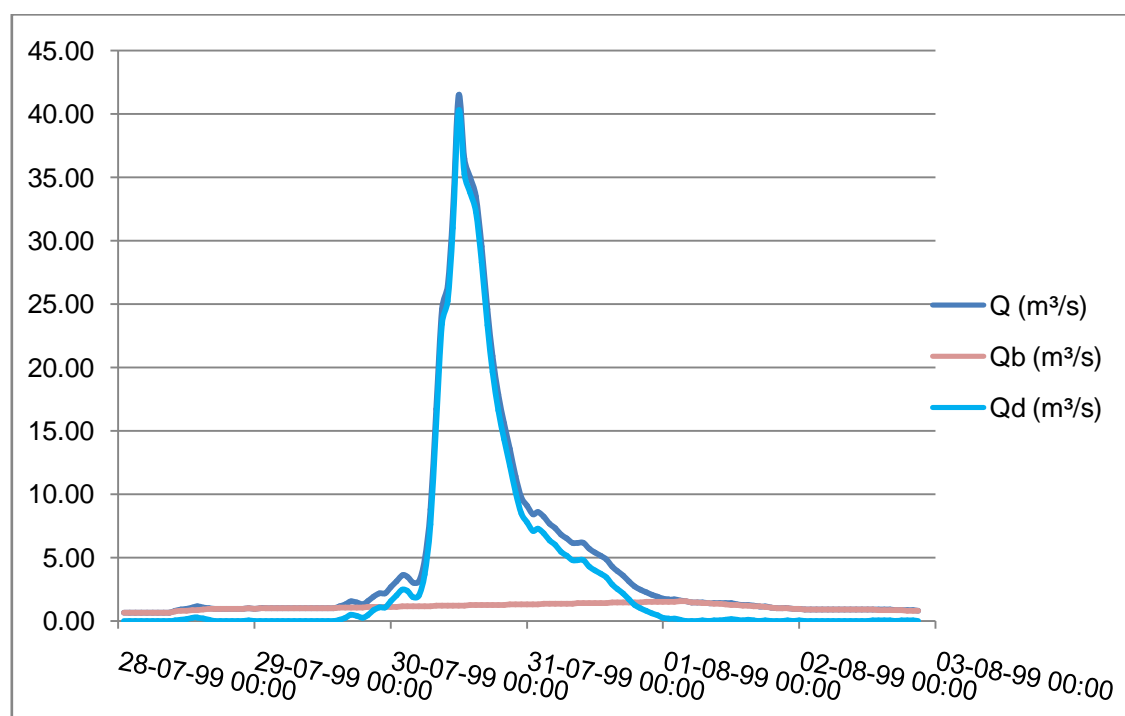
Слика 6.16. Директни и базни отицај током поплавног таласа јуна 1994. године



Слика 6.17. Директни и базни отицај током поплавног таласа маја 1996. године

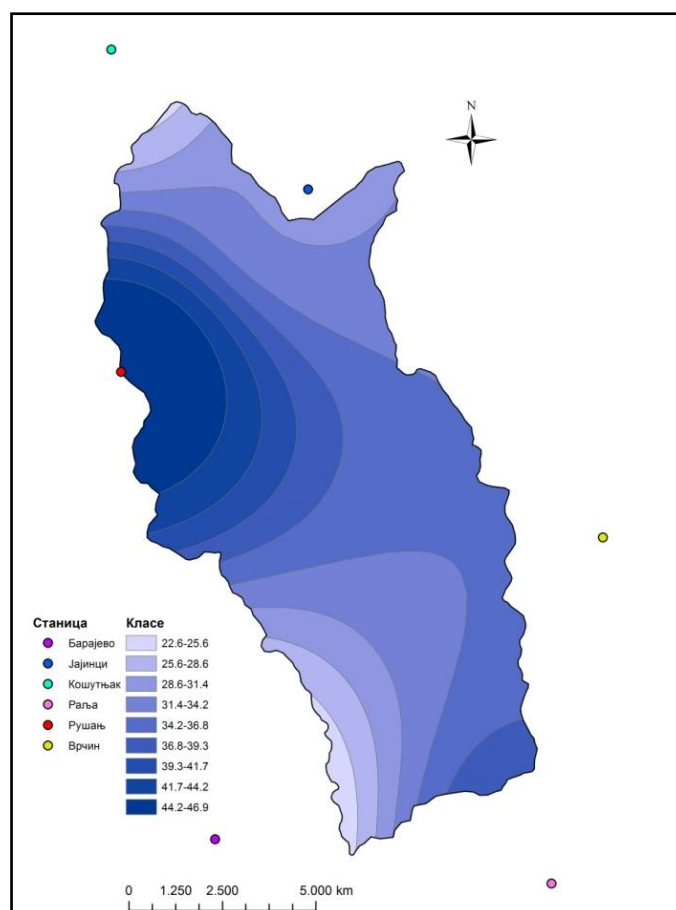


Слика 6.18. Директни и базни отицај током поплавног таласа маја 1996. године



Слика 6.19. Директни и базни отицај током поплавног таласа крајем јула 1999.  
године

У циљу добијања података о средњим меродавним висинама падавина за цео слив за моделиране сливове коришћена је метода изохијета примењена у ArcGIS програму која се базира на примени поступка интерполације на основу распореда кишомernih станица тако што се повлаче линије које спајају тачке са једнаком количином падавина, односно изохијете. Методом пондерисања добијена је средња меродавна дневна висина падавина за цело сливно подручје ( $P_{d,sliv}$ ), тако што се множе вредности површина делова слива између суседних изохијета и средње вредности изохијета, потом се добијене вредности сумирају, а добијена сума дели се са површином слива.



Слика 6.20. Карта изохијета на примеру кишне епизоде из 1994. године,  
Топчидерска река

Чињеницу о недовољној изучености бујичних сливова у Србији потврђује и податак да се часовне вредности падавина мере само на главним метеоролошким станицама и појединим кишомерним станицама, тј. фонд часовних података

падавина је оскудан, док подаци о дневним падавинама са падавинских станица доминирају. Такође, у раду ових станица постоје значајни прекиди.

У оваквим ситуацијама а при детаљним анализама поплавних таласа примењује се поступак одређивања часовних падавина за цео слив ( $P_{h,sliv}$ ) на основу следећег односа (Ристић, 1999):

$$P_{d,sliv} : P_{d,pluv.} = P_{h,sliv} : P_{h,pluv.}, \text{ односно} \quad (31)$$

$$P_{h,sliv} = \frac{P_{h,pluv.} \cdot P_{d,sliv}}{P_{d,pluv.}}$$

узимајући притом у обзир чињеницу да апсолутно равномерна просторна расподела количина кишних падавина и њихових интензитета није могућа у природним бујичним сливовима. За слив Топчидерске реке коришћене су дневне ( $P_{d,pluv.}$ ) и часовне ( $P_{h,pluv.}$ ) вредности падавина са кишомерне станице Кошутњак са плувиографом и дневне вредности падавина са падавинских станица Барајево, Раља, Рушањ, Врчин и Јајинци (Слика 6.20.).

У табели 6.9. дефинисани су периоди симулације са карактеристикама епизода киша, односно трајањем, укупном сумом и средњим интензитетом кишних падавина.

Табела 6.9. Периоди симулације и карактеристике епизода киша, слив  
Топчидерске реке

Бр. хидр.	Период симулације	Епизоде киша	$T_k$ (h)	$\sum P$ (mm)	$I_{sr}$
1.	19.-23.06.1994.	20.-21.06.1994.	7	35.8	5.1
2.	13.-18.05.1996.	14.-15.05.1996.	17	29.7	1.56
3.	08.-12.07.1999.	08.-10.07.1999.	31	119.4	3.51
4.	28.07.-02.08.1999.	29.-31.07.1999.	25	41.9	1.68

Распон вредности Дарсијевог коефицијента филтрације и специфичне издашности за стене према ауторима Freeze & Cherry (1979) присутне у сливу Топчидерске реке дате су у табели 6.10.



Табела 6.10. Распон вредности хидрогеолошких параметара за стене присутне у сливу

Врста стене	$K_s$ (m/dan)	$S_y$ (m <sup>-1</sup> )
Чврсте магматске стене	$2.74 \cdot 10^{-6}$ - $2.74 \cdot 10^{-2}$	0.025
Кречњаци	$2.74 \cdot 10^{-4}$ -10	0.025
Флиш	$2.74 \cdot 10^{-4}$ -10	0.25
Изломљене стене	$2.74 \cdot 10^{-2}$ -10	-
Лапорци	$2.74 \cdot 10^{-4}$ -10	0.23
Глине и глинци	$2.74 \cdot 10^{-5}$ -0.019	0.05
Лес	$2.74 \cdot 10^{-4}$ -0.274	0.18

Геолошки састав слива Топчидерске реке је веома разноврстан, што се такође може потврдити на нивоу већине полигона дигитализоване геолошке карте слива који имају неколико атрибута, рецимо полигон са ознаком глине, глиновити лапорци, лапоровите глине, пескови, пешчари и кречњаци или полигон са ознаком - пешчари, алевролити, лапорци, глинци и кречњаци. Полигон који има атрибуте - кречњаци, глине, пескови и песковите глине или полигон са атрибутима - кречњаци, лапорци и пешчари, губе реална хидрогеолошка својства чистих кречњака јер су значајно измењени присуством других формација. С обзиром да је вредност Дарсијевог коефицијента за стене најбитнији параметар у модулу отицаја у засићеној зони, а узимајући у обзир распон његове вредности за различите врсте стена, и нарочито шареноликост у оквиру геолошких полигона, калибрација ће се вршити у распону  $2.74 \cdot 10^{-6}$  - 10 на нивоу целог слива.

Подаци о механичком саставу и текстури различитих типова земљишта заступљених у сливу Топчидерске реке су дати на основу фонда података Института за земљиште у Београду, Шумарског факултета у Београду, као и литературе (Antić, 2007). У табели 6.11. дати су подаци о хоризонтима земљишта заступљених у сливу Топчидерске реке до профила Раковица, тј. њиховој припадности текстурним класама према америчкој класификацији и просечне вредности параметара водно - физичких својстава према аутору Rawls (1982). У моделу слива узете су константне вредности параметара  $w_s$ ,  $w_r$ ,  $\alpha$ ,  $n$ .

Табела 6.11. Текстурни састав земљишта и параметри водно - физичких својстава

Тип земљишта	Дуб. (cm)	Текстурне класе	$w_s$	$w_r$	$\alpha$	n	$K_z$ (m/d)
Алувијум	0-27	глиновита иловача	0.153	0.489	0.0092	1.756	0.055
	27-50	иловача	0.078	0.430	0.0120	1.560	0.163
	50-80	глиновита иловача	0.153	0.489	0.0092	1.756	0.055
	>80	глиновита иловача	0.153	0.489	0.0092	1.756	0.055
Гајњача	0-20	иловача	0.078	0.430	0.0120	1.560	0.163
	20-40	иловача	0.430	0.078	0.012	1.560	0.163
	40-60	глинуша	0.326	0.544	0.0005	1.443	0.014
	100-120	глинуша	0.326	0.544	0.0005	1.443	0.014
Гајњача у лесивирању	0-30	глиновита иловача	0.153	0.489	0.0092	1.756	0.055
	30-60	глиновита иловача	0.153	0.489	0.0092	1.756	0.055
	60-80	глиновита иловача	0.153	0.489	0.0092	1.756	0.055
	80-100	глиновита иловача	0.153	0.489	0.0092	1.756	0.055
Гајњача лесивирана	0-5	глинуша	0.326	0.544	0.0005	1.443	0.014
	5-28	глинуша	0.326	0.544	0.0005	1.443	0.014
	28-70	глинуша	0.326	0.544	0.0005	1.443	0.014
	70-90	глинуша	0.326	0.544	0.0005	1.443	0.014
Делувијум	0-20	иловача	0.078	0.430	0.0120	1.560	0.163
	20-40	иловача	0.078	0.430	0.0120	1.560	0.163
	60-80	глиновита иловача	0.153	0.489	0.0092	1.756	0.055
	80-160	иловача	0.078	0.430	0.0120	1.560	0.163

Просечне вредности евапотранспирационо - интерцептивних параметара: интерцептивни капацитет биљке (STOR), индекс лисне површине (CLAI), индекс површине биљке (PLAI), дренажни параметар вегетације (Ck), дренажни параметар вегетације (Cb), дати су у табели 6.12. према ауторима Breuer et al. (2003) и Dunn & Maskau (1995). Интерцептивни капацитет биљке може се дефинисати као максимална количина воде коју може да задрже надземни делови биљке (највећа вредност овог параметра је за шуме); индекс лисне површине

представља заступљеност укупне површине под лишћем у односу на укупну површину под вегетацијом; индекс површине биљке представља заступљеност површине без вегетације у односу на површине под вегетацијом (2013).

Табела 6.12. Вредности евапотранспирационо - интерцептивних параметара

Врста вегетације	Rk (mm/s)	Rb (mm <sup>-1</sup> )	STOR (mm)	PLAI	CLAI
Листопадне шуме	1.40E-5	5.1	5	1	6
Четинарске шуме	1.40E-5	5.1	5	1	6
Мешовите шуме	1.40E-5	5.1	5	1	6
Прелазна подручја шума и макија	1.40E-5	5.1	1.5	1	3
Травњаци	1.40E-5	5.1	1.5	1	6
Пољопривредно земљиште	1.40E-5	5.1	1.5	1	6

Табела 6.13. Однос стварне и потенцијалне евапотранспирације

Тензија земљ. влаге (S <sub>m</sub> )	Шуме	Пољ. површине и травњаци	Деградиране шуме, урбана земљ. и голети
		AE/PE	
-1000	0	0	0
-150	0.05	0.03	0.02
-50	0.2	0.12	0.08
-20	0.5	0.3	0.2
-10	0.8	0.48	0.32
-1	1.0	0.6	0.4
-0.1	1.0	0.6	0.4

Пошто су коришћене часовне вредности потенцијалне евапотранспирације, коришћене су и литературне вредности односа стварне и потенцијалне евапотранспирације за различите врсте вегетације, односно начине коришћења земљишта, у зависности од тензије земљишне влаге према ауторима програма SHETRAN, односно упутству за коришћење софтвера (2013), и аутора Shuttleworth (1993) у табели 6.13.

Табела 6.14. Функција кореновог система

Дубина корена (m)	Пољopr. земљиште	Травњаци	Листопадне шуме	Четинарске шуме	Деградиране шуме
RDF					
0.1	0,31	0.25	0.178	0.13	0.25
0.2	0,228	0.18	0.144	0.12	0.18
0.3	0.17	0.15	0.126	0.11	0.15
0.4	0.1	0.12	0.108	0.1	0.12
0.5	0.072	0.1	0.094	0.09	0.1
0.6	0.06	0.08	0.08	0.08	0.08
0.7	0.04	0.06	0.066	0.07	0.06
0.8	0.02	0.03	0.052	0.06	0.03
0.9		0.02	0.04	0.05	0.02
1.0		0.1	0.027	0.03	0.01
1.2			0.04	0.06	
1.4			0.027	0.04	
1.6			0.018	0.03	

Подаци о функцији густине кореновог система (RDF) која се мења са дужином дата је у табели 6.14. према упутству за коришћење софтвера SHETRAN, и аутору Gregory (1988). Функција густине кореновог система представља укупну дужину корена и заступљеност корења у сваком слоју земљишта (2013).

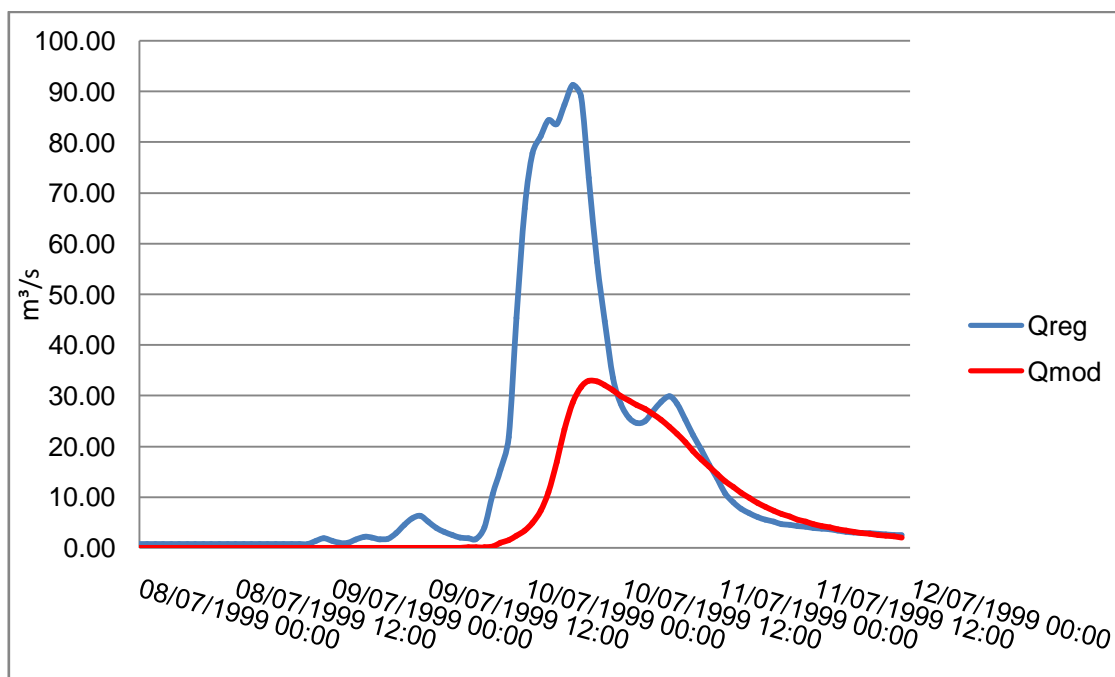
Вредности Стриклеровог коефицијента рапавости за водотоке и Стриклеровог коефицијента рапавости за површински отицај за различите врсте вегетације су инверзне у односу на Манингов коефицијент рапавости за речна корита и типове вегетација. За потребе овог истраживања користиће се интервал Манинговог коефицијента за речна корита од 0.20 – 0.40, односно интервал Стриклеровог коефицијента 20 – 40 који се најчешће користи за квантификовање рапавости речног дна (притом се претпоставља да је јединствена вредност овог параметра за целу речну мрежу) (Ђукић, 2010). Према аутору Engman (1986), у табели 6.15. дате су вредности Манинговог коефицијента за површински отицај.

Табела 6.15. Манингов коефицијент рапавости за површински отицај

Врста вегетације	n		
	мин.	сред.	макс.
Листопадне шуме	0.12	0.18	0.25
Четинарске шуме	0.12	0.18	0.25
Мешовите шуме	0.12	0.18	0.25
Прелазна подручја шуме и макије	0.067	0.04	0.12
Травњаци	0.055	0.098	0.14
Пољопривредно земљиште	0.05	0.085	0.12

Када су сви потребни подаци спремни, може се покренути GUI апликација SHETRAN-а што представља почетни корак у развоју модела отицаја у сливу (Слика 6.21.). Овим поступком, на основу ДМВ-а и маске слива, одабиром доминантог начина коришћења земљишта, односно вегетације са припадајућим вредностима параметара, доминантног типа земљишта са припадајућим вредностима параметара, хидролошких и метеоролошких података за дати поплазни талас, формира се првобитни моделирани хидрограм чија је максимална ордината обично знатно нижа у односу на регистровани хидрограм а њихови облици се такође не подударају.

Некада се, међутим, може догодити да се регистровани и првобитни моделирани хидрограми поклапају и да Nash-Sutcliffe коефицијент показује високу вредност, али се не може говорити о релевантном моделу пошто није постављен на реалним подацима о сливу, односно није калибрисан и верификован, тј. такво подударање је случајно. Интегрисањем у модел реалних података о топографским, геолошким, педолошким и вегетационим карактеристикама у сливу, већ се јављају изгледи о подударању забележених и моделираних протицаја.



Слика 6.21. Хидрограм добијен покретањем GUI апликације  
на примеру Топчидерске реке

### 6.1.9. Анализа осетљивости модела отицаја

Најпре је потребно, на основу литературе и знања из области хидрологије, одредити најважније факторе, односно параметре који битно утичу на облик хидрограма, односно нагибе гране пораста и гране рецесије, и његову вршну ординату, потом дефинисати интервале параметара и оценити у којој мери сваки од параметара утиче на формирање отицаја. На тај начин обезбеђује се анализа осетљивости модела.

На основу систематизованих знања у поглављу 2, може се закључити да на облик и максималну ординату хидрограма поплавног таласа у условима бујичних сливова највише утичу интензитет и количина падавина, начин коришћења земљишта, хидролошка својства земљишта и хидрогеолошка својства стенских маса. Комбинација споменутих карактеристика слива одређује праг слива за појаву датог поплавног таласа у односу на одређени интензитет и количину излучених кишних падавина. Стога су, на основу препорука из упутства за коришћење софтвера SHETRAN (2013) и искуства ранијих истраживања (Ђukić,

2010), анализом осетљивости обухваћени следећи параметри, као специфични показатељи најважнијих карактеристика у сливу: Дарсијев коефицијент филтрације геолошке основе, Дарсијев коефицијент филтрације земљишта, Strickler-ов коефицијент рапавости за површински отицај и Strickler-ов коефицијент рапавости за речна корита, а њихове литературне доње и горње граничне вредности, за услове слива Топчидерске реке, приказане су у табели 6.16.

Табела 6.16. Интервали вредности параметара за анализу осетљивости

Параметри	Мин.	Макс.	Јединица
$K_z$	0.0126	0.1793	m/d
$K_s$	$2.74 \cdot 10^{-6}$	10	m/d
$S_o$	4	100	$m^{1/3} s^{-1}$
$S_r$	20	40	$m^{1/3} s^{-1}$

При испитивању осетљивости модела треба мењати вредност само једног параметра како би се најбоље уочила величина утицаја сваког од њих (Ђukić, 2010; 2013). Осетљивост модела треба да буде испитана са горњим и доњим вредностима параметара који утичу на величину отицаја. Сlike 6.22.-6.25. дају графичку представу о утицају на отицај, односно хидрограм, сваког од наведена четири параметра. На основу хидрограма, може се закључити да највеће варијације моделираних отицаја условљавају доње и горње граничне вредности Стриклеровог коефицијента рапавости речног корита ( $\Delta Q = 38.52 m^3 s^{-1}$ , повећање  $Q_{max}$  за 53.48 %), потом Дарсијевог коефицијента филтрације за геолошку основу ( $\Delta Q = 18.99 m^3 s^{-1}$ , умањење  $Q_{max}$  за 18.27 %) и Стриклеровог коефицијента рапавости површинског отицаја ( $\Delta Q = 15.94 m^3 s^{-1}$ , повећање  $Q_{max}$  за 18.21%), а најмање Дарсијевог коефицијента филтрације за земљишта ( $\Delta Q = 12.2 m^3 s^{-1}$ , смањење  $Q_{max}$  за 12.31 %). Међутим, због нереалног повећања протицаја услед доње граничне вредности Дарсијевог коефицијента филтрације, у процесу калибрације потребно је узети вредност приближнију горњој граничној вредности.

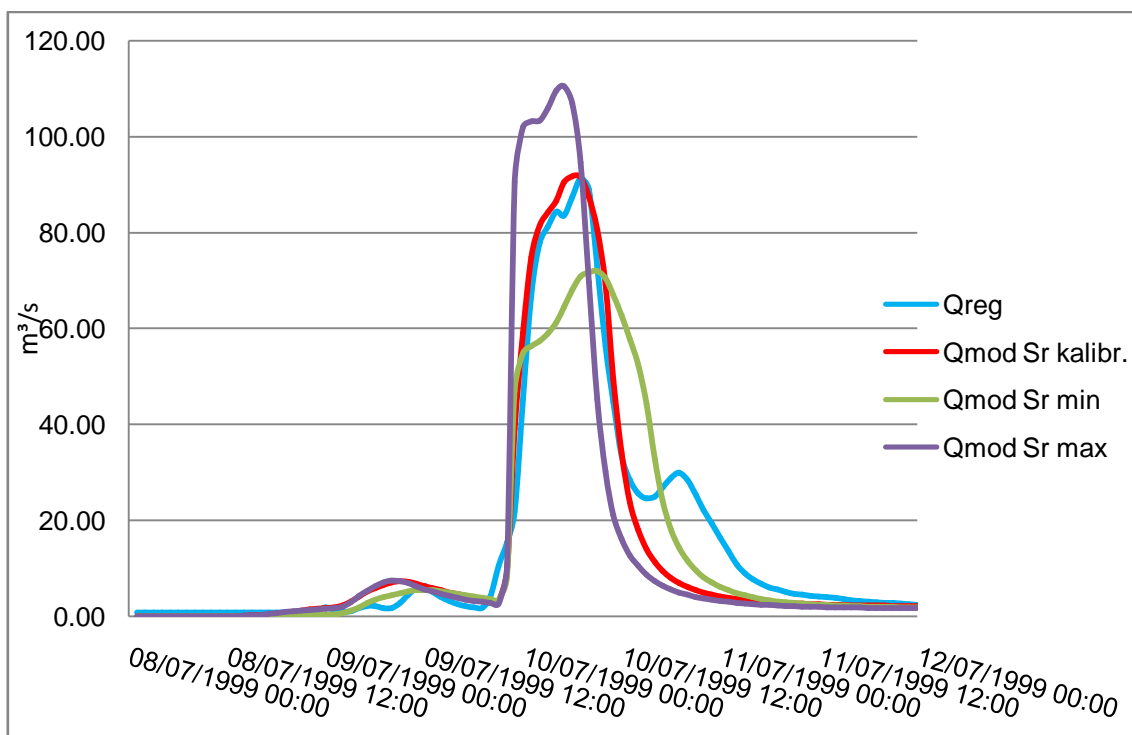
Утицаји горњих и доњих граничних вредности параметара на вршну ординату у односу на поплазни талас из 1999. године ( $Q_{\max} = 91.35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) за који се врши калибрација модела, квантификовани су у процентима. Тако се, на пример, при максималној вредности Стриклеровог коефицијента за површински отицај  $S_{\max}$ , вршни протицај  $Q_{\max}$  увећава за 13.26 %, а при минималној смањује за 4.19 % у односу на регистровани вршни протицај. При максималној вредности Стриклеровог коефицијента за речна корита  $S_{r\max}$ , вршни протицај  $Q_{\max}$  увећава за 21.01 %, а при минималној  $S_{r\min}$ , смањује за 21.16 % у односу на регистровани вршни протицај. При максималној вредности Дарсијевог коефицијента филтрације за земљишта  $K_{z\max}$ , вршни протицај  $Q_{\max}$ , умањује се за 4.87 %, а при минималној увећава се за 8.48 % у односу на регистровани вршни протицај ( $Q = 91.35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ). При максималној вредности Дарсијевог коефицијента филтрације за стене  $K_{s\max}$ , вршни протицај  $Q_{\max}$ , умањује се за 7 %, а при минималној увећава се за 13.79 % у односу на регистровани вршни протицај ( $Q_{\max} = 91.35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ).

Табела 6.17. Утицај вредности параметара на вршни протицај

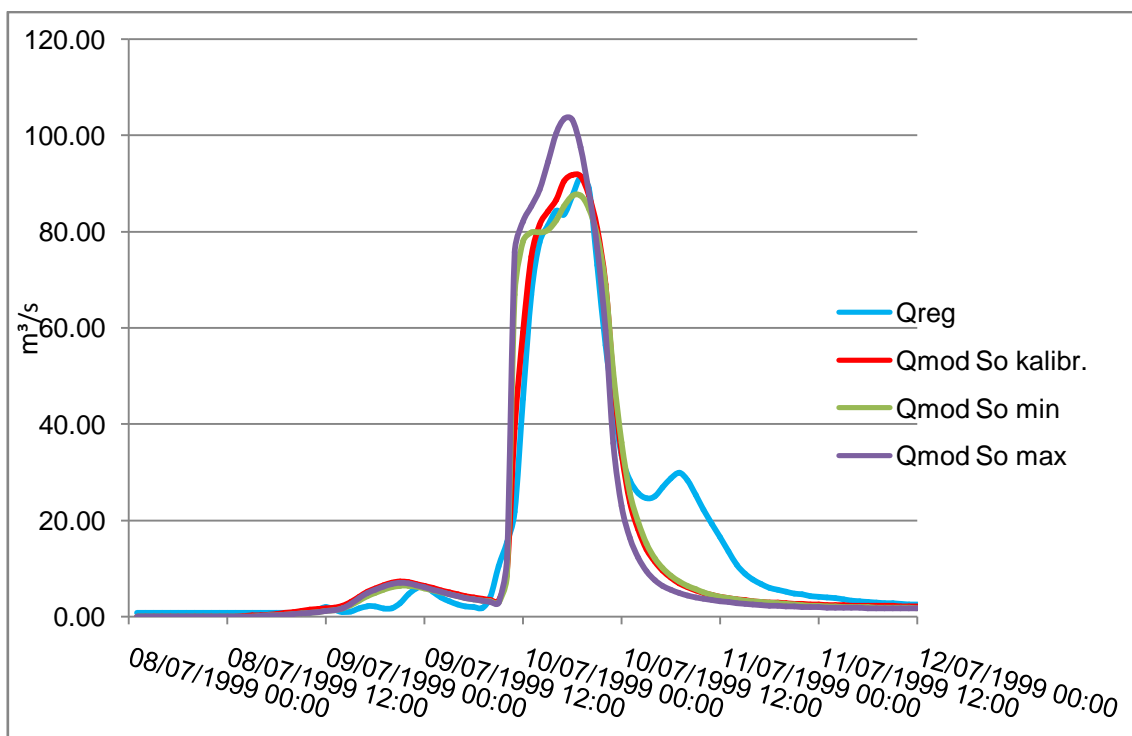
Параметри	min	max	$\Delta Q$	%
$Q_{Kz}$	99.10	86.90	12.2	-12.31
$Q_{Ks}$	103.95	84.96	18.99	-18.27
$Q_{So}$	87.52	103.46	15.94	+18.21
$Q_{Sr}$	72.02	110.54	38.52	+53.48

Дакле, што је виши Стриклеров коефицијент рапавости за површински отицај и речна корита, а мањи коефицијент хидрауличног кондуктивитета за земљишта и за стене, то ће максимална ордината хидрограма бити виша, а могу се очекивати и стрмије гране пораста и рецесије код хидрограма. Супротно томе, када је хидрауличка проводљивост земљишта и стена већа, Стриклеров коефицијент рапавости терена и водотокова мањи, формирају се хидрограми са нижом маскималном ординатом и гранама блажег нагиба.

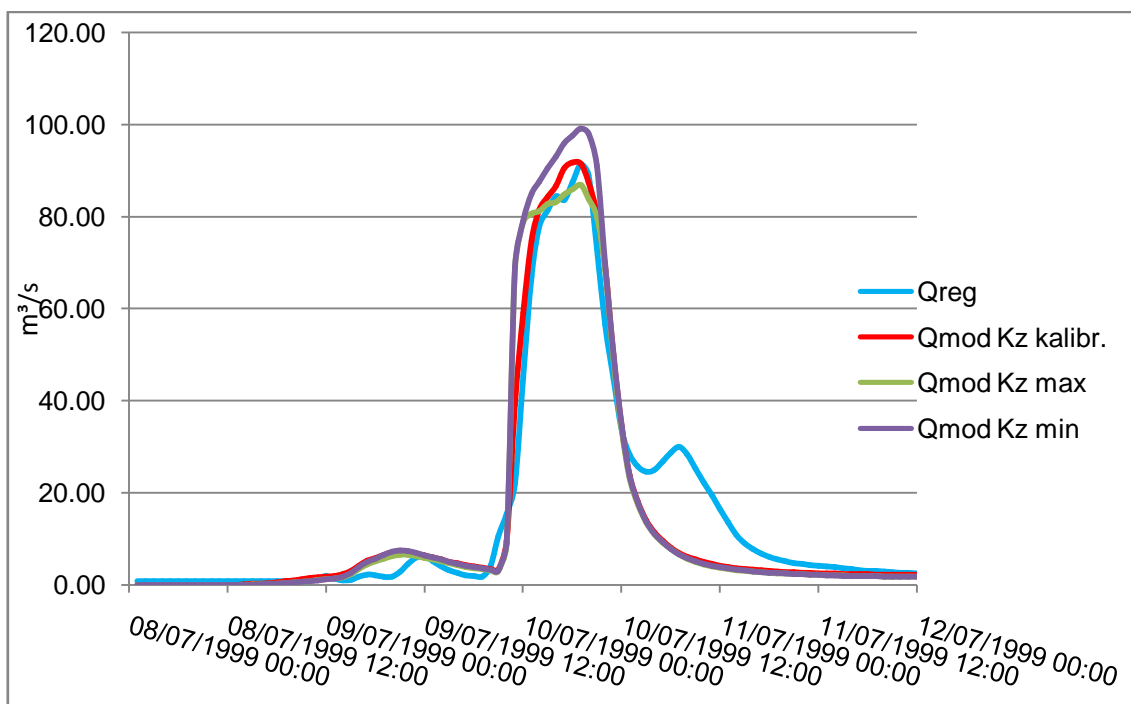




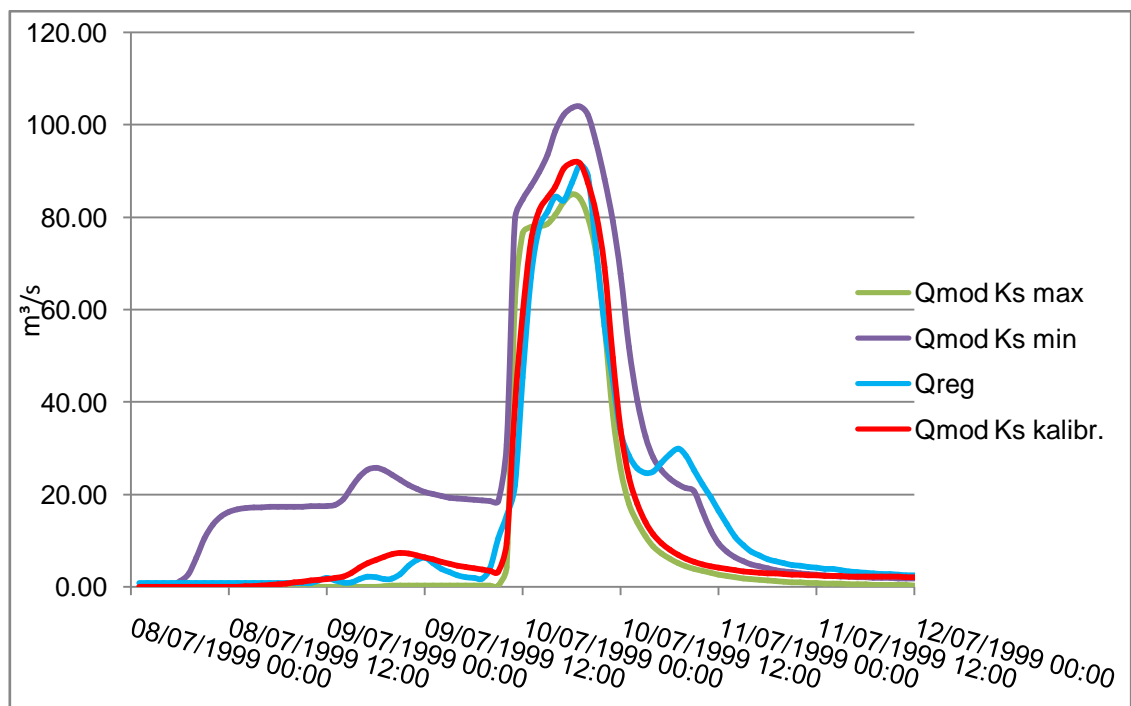
Слика 6.22. Хидрограми регистрованог и моделираног отицаја при варијацији Стриклеровог коефицијента рапавости речног корита



Слика 6.23. Хидрограми регистрованог и моделираног отицаја при варијацији Стриклеровог коефицијента рапавости за површински отицај



Слика 6.24. Хидрограми регистрованог и моделираног отицаја при варијацији Дарсијевог коефицијента филтрације за земљишта



Слика 6.25. Хидрограми регистрованог и моделираног отицаја при варијацији Дарсијевог коефицијента филтрације за геолошку основу

### 6.1.10. Калибрација модела отицаја

Калибрација модела је важна фаза у развоју модела отицаја која подразумева процес прилагођавања модела, у смислу вредности одређених параметара, у односу на епизоде киша и регистрован хидрограм поплавног таласа. Оптимални скуп физички реалних вредности параметара модела добија се варирањем вредности одређених параметара модела унутар физички прихватљивих граница све док се не успостави задовољавајуће слагање између моделираних и регистрованих вредности неке посматране величине, у овом случају, отицаја (Авакумовић, 2000; Ђukić, 2010).

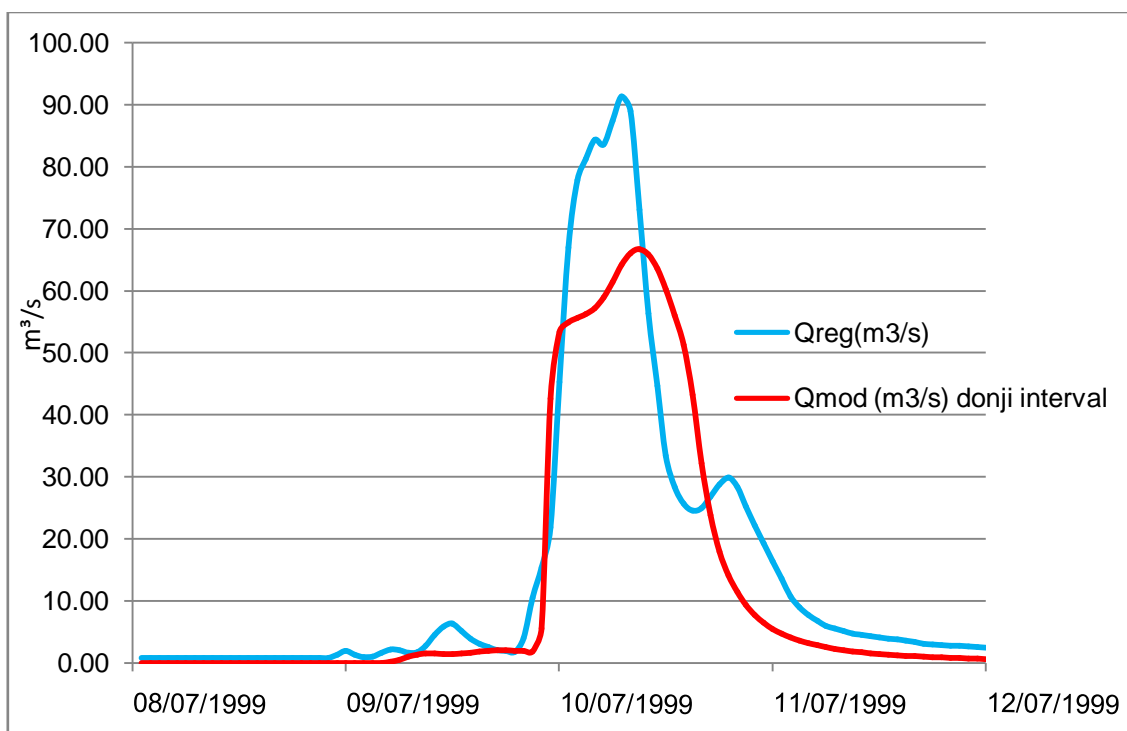
Параметри водно-физичких својстава земљишта одређеног текстурног састава и хидрогеолошких својстава стенских маса су променљиви у различитим деловима слива и њихове вредности се могу одређеним интервалима вредности у зависности од више других физичко-географских услова у сливу.

Табела 6.18. Интервали вредности параметара за калибрацију модела, слив Топчидерске реке

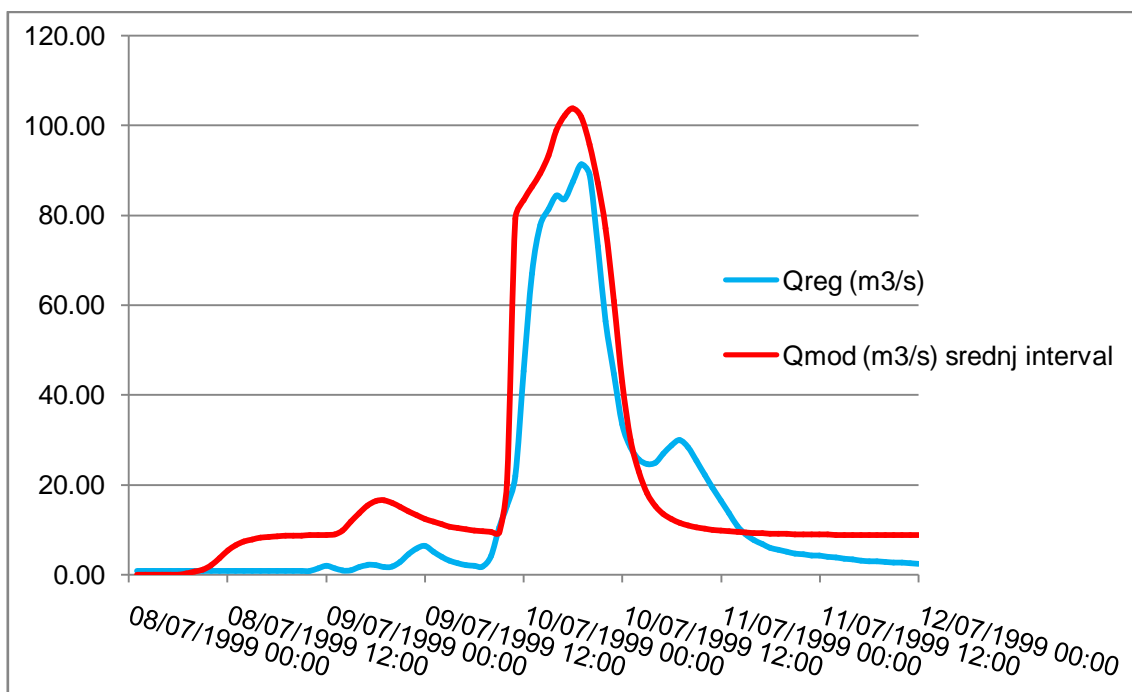
Параметри	Карактеристике	Мин.	Макс.	Јединица
$K_z$	глиновита иловача	0.0495	0.0605	m/d
	иловача	0.1467	0.1793	
	глинуша	0.0126	0.0154	
$K_s$		$2.74 \cdot 10^{-6}$	10	m/d
$S_o$	шуме	4	8	$m^{1/3} s^{-1}$
	прелаз. подручја шума	8	15	
	пољопр. земљиште	8	20	
	травнате површине	7	18	
	урбане површине	90	100	
$S_r$		20	40	$m^{1/3} s^{-1}$

Слике 6.26. – 6.28. представљају осетљивост модела отицаја за Топчидерску реку на доње, средње и горње граничне вредности параметара (Табела 6.18.), односно

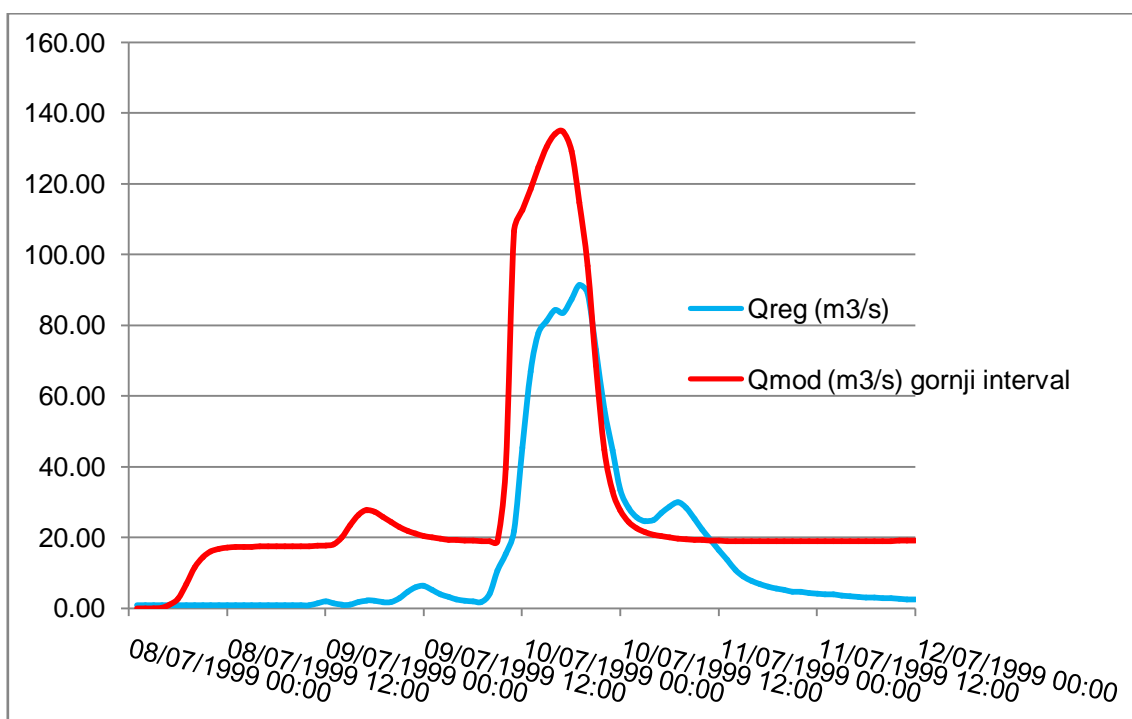
дају слику о регистрованим и моделираним отицајима при доњим и горњим граничним, и средњим вредностима параметара. Запажено је да је регистрованом хидрограму најприближнији моделирани хидрограм са осредњеним вредностима параметара.



Слика 6.26. Хидрограм регистрованог отицаја и моделираног са доњим вредностима параметара у границама дефинисаних интервала



Слика 6.27. Хидрограм регистрованог отицаја и моделираног са средњим вредностима параметара у границама дефинисаних интервала

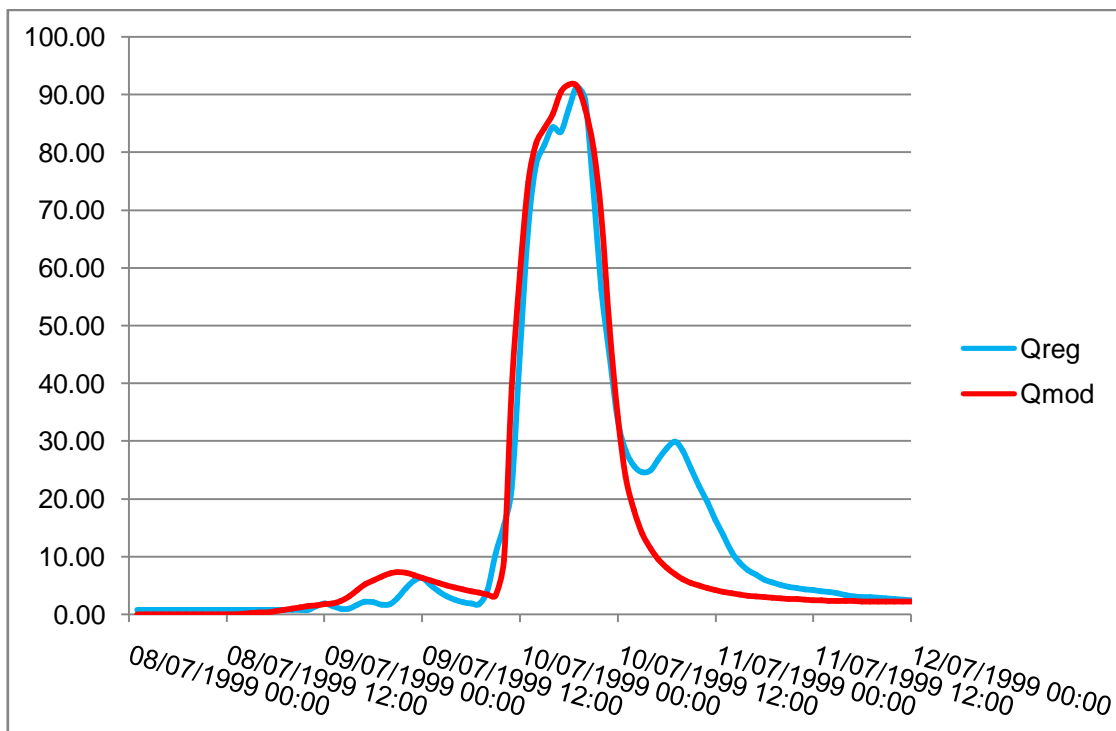


Слика 6.28. Хидрограм регистрованог отицаја и моделираног са горњим вредностима параметара у границама дефинисаних интервала

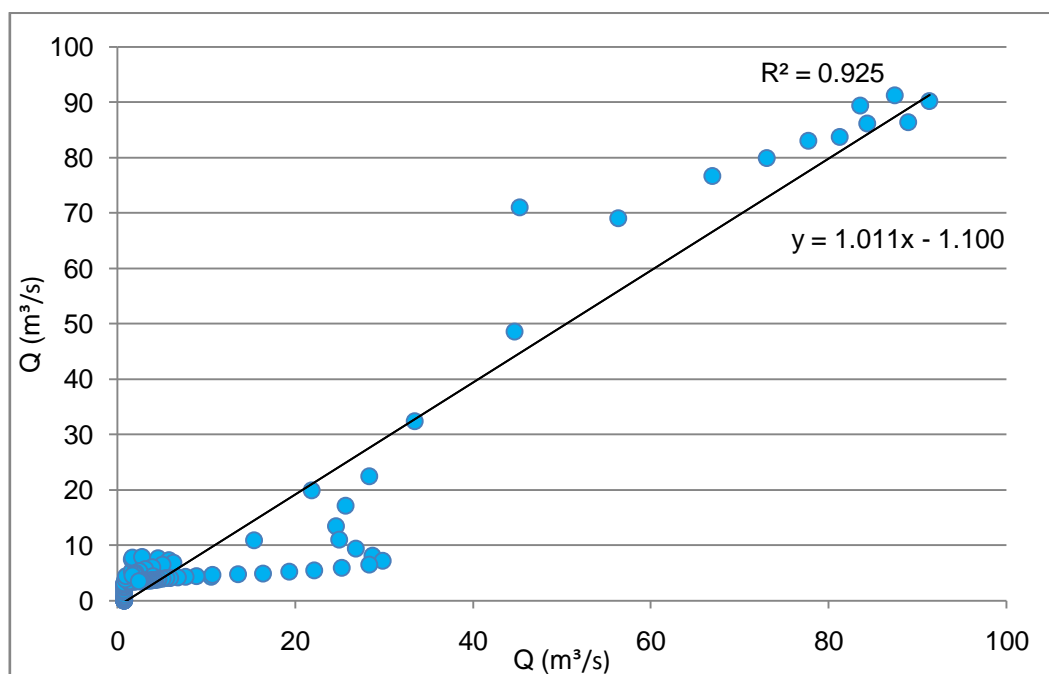
Калибрација модела за слив Топчидерске реке вршена је на примеру поплавног таласа који се догодио јула 1999. године. Изведен је читав низ симулација са различитим комбинацијама вредности параметара у границама интервала како би се дошло до најоптималнијег решења, односно оне комбинације вредности параметара којом се добија моделирани хидрограм најсличнији регистрованом. Тако је применом најоптималније комбинације параметара из табеле 6.19. добијен хидрограм моделираног отицаја (Слика 6.28.) који према коефицијенту корелације од 0.962 (Слика 6.29., Табела 6.20.), као и према визуелној опсервацији, високо кореспондира регистрованом хидрограму, нарочито када је реч о подударачу вршних ордината (Табела 6.21.) и узлазних и силазних грана хидрограма, док се доњи делови грана моделираних и регистрованих хидрограма, пре и после доминације базних отицаја, подударачу у мањој мери. Статистичка анализа указује на задовољавајуће резултате, с обзиром на високу вредност коефицијента корелације и детерминације и вероватноћу грешке (p) према F – тесту, која је мања од 0.05.

Табела 6.19. Калибрисане вредности параметара за модел Топчидерске реке

Параметри	Карактеристике	Вредност	Јединица
$K_z$	глиновита иловача	0.054	m/d
	иловача	0.161	
	глинуша	0.013	
$K_s$		0.960	m/d
$S_o$	шуме	5	$m^{1/3} s^{-1}$
	прелаз. подручја шума	11	
	пољопр. земљиште	9	
	травнате површине	10	
	урбане површине	94	
$S_r$		30	$m^{1/3} s^{-1}$



Слика 6.28. Регистровани и моделирани хидрограми отицаја према калибрисаним вредностима параметара (Табела 25.)



Слика 6.29. Корелација регистрованог и моделираног отицаја према моделу отицаја за Топчидерску реку

Табела 6.20. Статистичка анализа (поплавни талас 10. јула 1999.)

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.961998
R Square	0.92544
Adjusted R Square	0.924647
Standard Error	7.022021
Observations	96

<i>ANOVA</i>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	57530.08	57530.08	1166.731	8.68E-55
Residual	94	4635.025	49.30878		
Total	95	62165.1			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Intercept	-1.10013	0.846501	-1.29963	0.196908	-2.78088	0.580613
X Variable 1	1.011644	0.029617	34.15744	8.68E-55	0.952839	1.07045

Табела 6.21. Вредности моделираног и регистрованог максималног протицаја

$Q_{\max \text{ reg}} (\text{m}^3 \text{s}^{-1})$	$Q_{\max \text{ mod}} (\text{m}^3 \text{s}^{-1})$
91.350	91.771

### 6.1.11. Валидација модела отицаја

Поступком валидације, односно верификације проверава се тачност калибрисаног модела, односно испитује се да ли и у којој мери калибрисани модел одражава стварне услове у сливу при другим епизодама интензивних киша, односно при симулацијама других догађаја карактеристичних поплавних таласа. Валидација модела отицаја врши се уносом калибрисаних вредности параметара за потребе симулације преостала три периода.

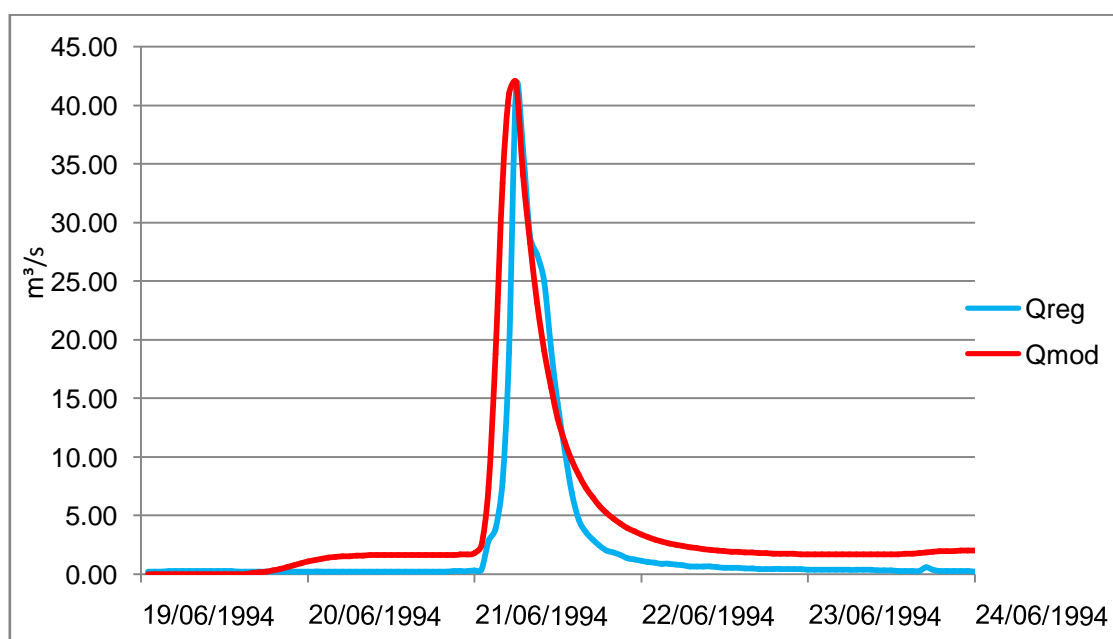
Калибрисани модел слива Топчидерске реке према поплавном таласу 10. јула 1999. године, најбоље одговара на симулацију поплавног таласа из 1996. године (Слика 6.32.) са високим коефицијентом детерминације регистрованих и моделираних вредности протицаја од 0.966 (Слика 6.33.). На веома добре



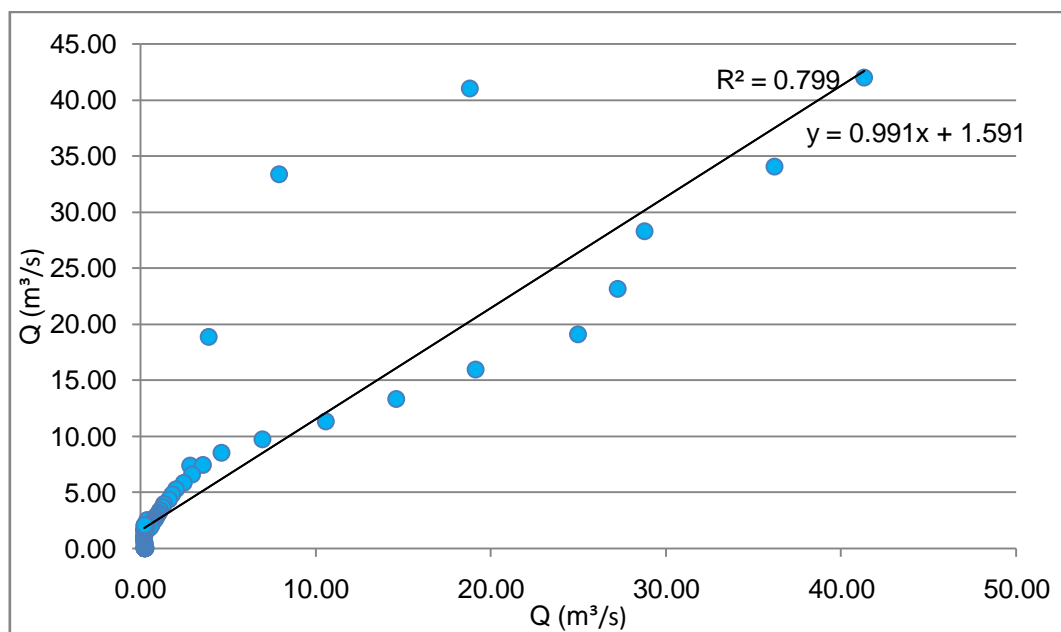
результате указује и слика 6.34. где је коефицијент детерминације 0.903 (Слика 6.35.), а нешто слабије резултате модел даје у случају поплавног таласа из 1994. (Слика 6.30.) са коефицијентом детерминације од 0.798 (Слика 6.31.). Статистичке анализе (Табела 6.23. – 6.25.) указују на задовољајуће резултате, с обзиром и на високе вредности коефицијента корелације и вероватноћу грешке према F – тесту, која је мања од 0.05. Регистроване и моделиране вредности вршних ордината (Табела 6.22) се доста добро поклапају, тј. разликују се у првој и другој децимали.

Табела 6.22. Вредности регистрованог и моделираног макс. протицаја

Поплавни талас	$Q_{\max, \text{reg}} (\text{m}^3 \text{s}^{-1})$	$Q_{\max, \text{mod}} (\text{m}^3 \text{s}^{-1})$
1994.	41.34	41.96
1996.	36.63	36.95
1999.	41.50	41.27



Слика 6.30. Регистровани и моделирани хидрограми отицаја за поплазни талас Топчидерске реке, јуна 1994., према калибрисаним вредностима параметара (Табела 6.19.)



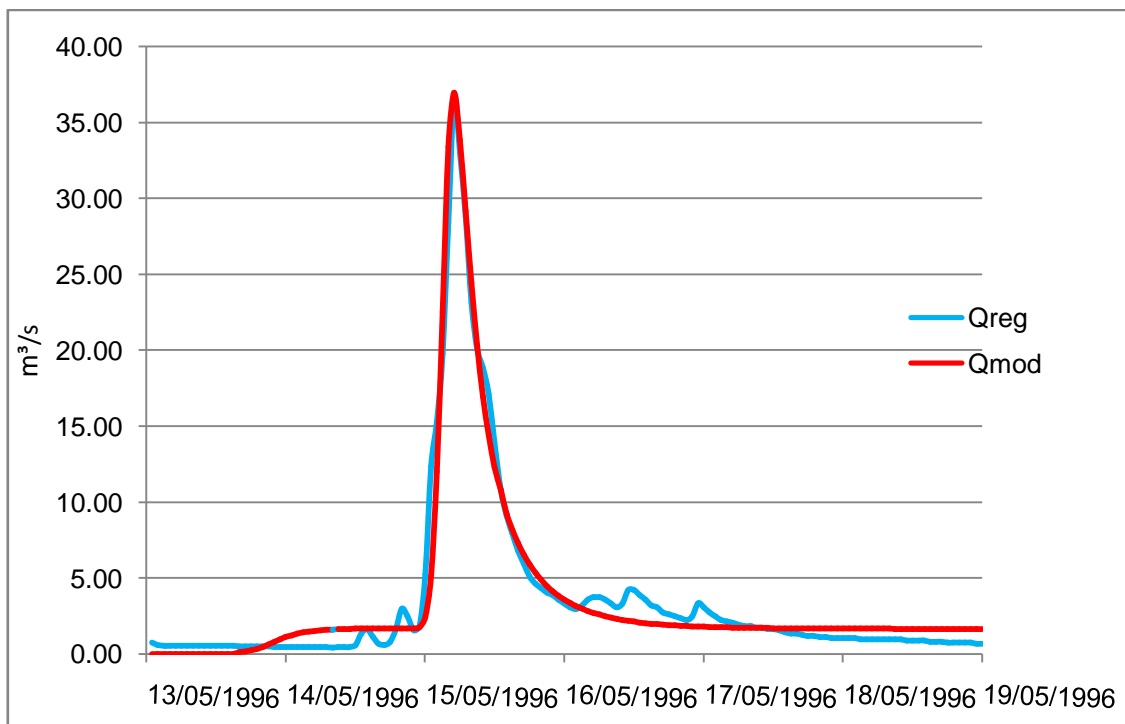
Слика 6.31. Корелација регистрованог и моделираног отицаја за поплазни талас  
Топчидерске реке из 1994. године

Табела 6.23. Статистичка анализа (поплазни талас из 1994. године)

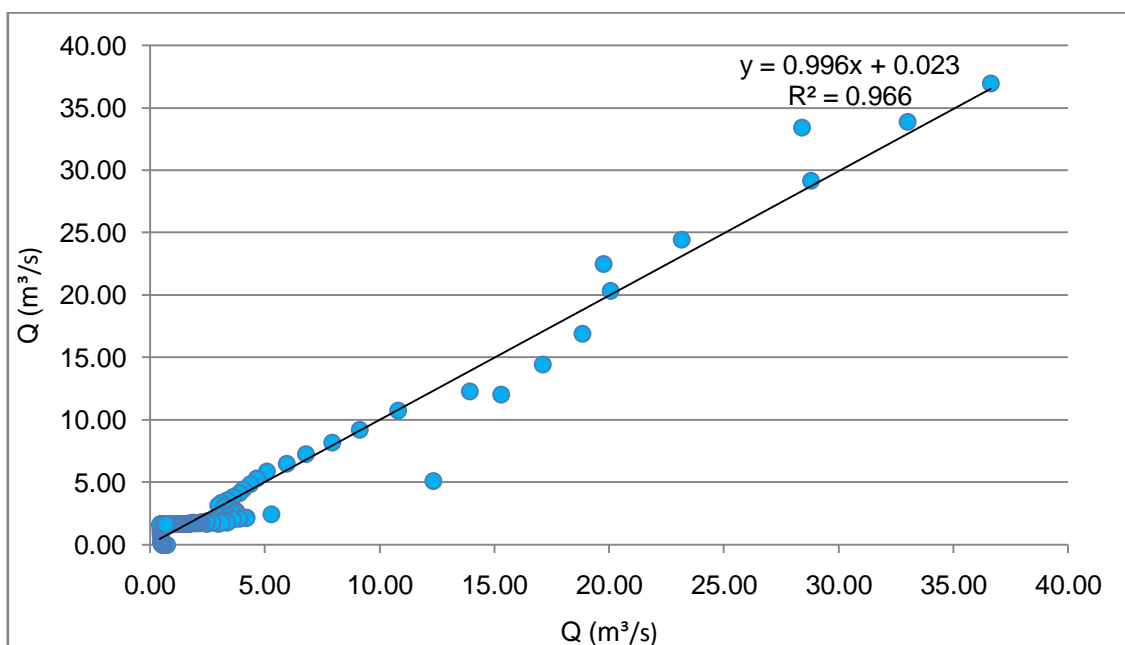
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.89381238
R Square	0.79890057
Adjusted R Square	0.79719633
Standard Error	3.46282574
Observations	120

<i>ANOVA</i>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	5621.149902	5621.15	468.7744	6.519E-43
Residual	118	1414.957132	11.9912		
Total	119	7036.107034			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Intercept	1.59141341	0.336481714	4.72957	6.29E-06	0.925088	2.2577388
X Variable 1	0.9915869	0.045798245	21.6512	6.52E-43	0.9008939	1.0822799



Слика 6.32. Регистровани и моделирани хидрограми отицаја за поплазни талас  
Топчидерске реке, маја 1996., према калибрисаним вредностима параметара  
(Табела 6.19.)



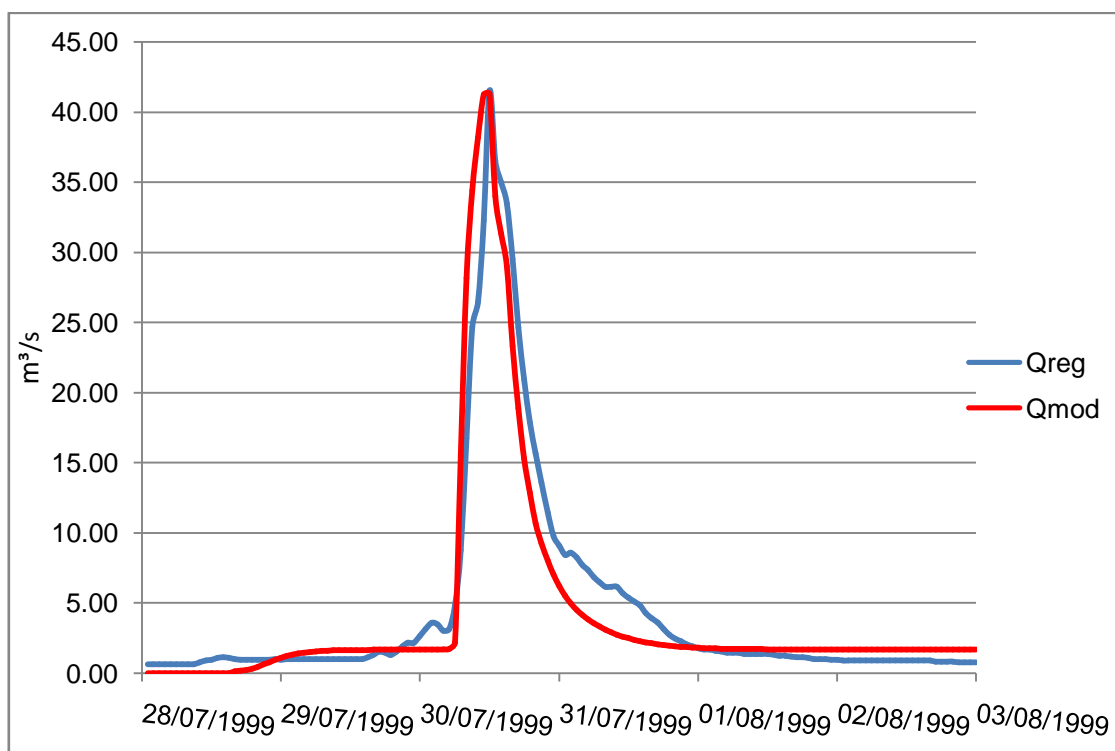
Слика 6.33. Корелација регистрованог и моделираног отицаја за поплазни талас  
Топчидерске реке из 1996. године

Табела 6.24. Статистичка анализа (поплавни талас из 1996.)

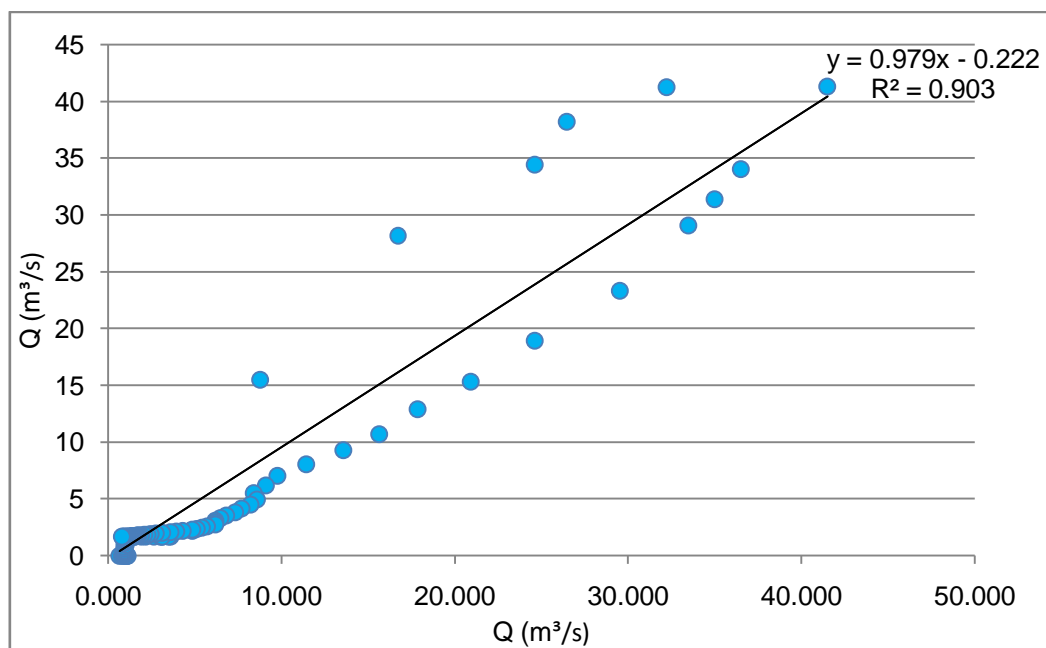
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.982957
R Square	0.966204
Adjusted R Square	0.965966
Standard Error	1.176847
Observations	144

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	5622.546	5622.546	4059.692	2.4E-106
Residual	142	196.6656	1.384969		
Total	143	5819.212			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Intercept	0.02385	0.112874	0.211295	0.83296	-0.19928	0.246979
X Variable 1	0.996449	0.015639	63.71571	2.4E-106	0.965534	1.027364



Слика 6.34. Регистровани и моделирани хидрограми отицаја за поплавни талас Топчидерске реке, јула 1999., према калибрисаним вредностима параметара (Табела 6.19.)



Слика 6.35. Корелација регистрованог и моделираног отицаја за поплавни талас  
Топчидерске реке из 1999. године (2)

Табела 6.25. Статистичка анализа (поплавни талас 30. јула 1999.)

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.950474
R Square	0.9034
Adjusted R Square	0.90272
Standard Error	2.553315
Observations	144

<i>ANOVA</i>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	8657.697	8657.697	1327.986	6.03E-74
Residual	142	925.7576	6.51942		
Total	143	9583.455			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Intercept	-0.22242	0.245282	-0.90681	0.366043	-0.7073	0.262452
X Variable 1	0.979063	0.026867	36.44154	6.03E-74	0.925953	1.032174

## **6.2. Слив Топлице - профил Магово**

### **6.2.1. Географски положај**

Топлица се као лева притока улива у Јужну Мораву у близини Дољевца, а површина слива (А) реке Топлице износи 2180 km<sup>2</sup>. За други хидролошки модел отицаја одабран је изворишни део слива реке Топлице до профила Магово.

У социо-економском смислу изворишни део слива реке Топлице је руралног типа, слабо насељен и са неразвијеном саобраћајном инфраструктуром. Значајнија сеоска насеља у истраживаном сливном подручју су Магово, Домишевина, Шошиће, Горње Левиће, Доње Левиће, Жарево и Кнежево, док насеља градског типа у експерименталном сливу нема. Главне привредне гране су шумарство и пољопривреда екстензивног типа. Кроз сливно подручје Топлице пролази регионални пут Брзеће-Куршумлија.

Слив Топлице до профила Магово је типичан планински са јаком дисекцијом рељефа. Кота профила Магово (K<sub>ц</sub>) је 540 m, а највиша тачка на топографској вододелници је Панчићев врх (2017 m).

### **6.2.2. Хидрографске и хидролошке карактеристике**

Топографска граница слива и речна мрежа у сливу Топлице (Слика 6.36.) је урађена на основу четворобојних топографских карата размере 1:25000, а коришћени су листови Суво Рудиште, Луковска бања, Лепенац, Брзеће, Бело брдо и Блажево. За одређивање параметара слива коришћен је дигитални модел висина типа SRTM резолуције 90 m у ArcGIS програму (Табела 6.26.).

Река Топлица настаје саставом Ђерекарске реке и Блажевске реке. Значајније леве притоке Топлице су Качаруша, Мала река, Маговски поток, а од десних притока треба издвојити Бабићку реку и Равни поток. Слив Блажевске реке има веома

развијену речну мрежу, а значајне притоке су Бораначки поток, Радуњска река, Домишевска река и Блажевски поток.

Табела 6.26. Параметри слива реке Топлице – профил Магово

Параметар	Вредност	Јединица
A	173.46	km <sup>2</sup>
O	69.89	km
Kv	1549.80	m n.v.
Ku	540.00	m n.v.
Hsr	1010.75	m n.v.
L	25.98	km
Lc	12.05	km
Ia	3.88	%
Iu	1.86	%
Isr	31.27	%
D	470.78	m
G	2.34	km·km <sup>2</sup>

Дужина тока Топлице до профила Магово (L) износи 25.38 km, а укупна дужина свих токова ( $\Sigma L$ ) 406,62 km, па је густина речне мреже (G) 2,34. Слив Топлице до профила Магово има веома развијену хидрографску мрежу. Међутим, на основу карте 9. може се приметити асиметричност као и троугаона до лепенаста форма слива.

Обим слива или дужина топографске вододелнице Топлице (O) до профила Магово износи 69,89 km. Модул развијености вододелнице по Гравелијусу на основу израза  $E=0.28 \frac{O}{\sqrt{A}}$  износи 1.48. Просечна ширина слива, која се добија на основу односа површине слива и дужине слива по главном току ( $B = \frac{A}{L}$ ), износи 6.68 km. Дужина слива по главном току, од тачке на вододелници до излазног профила (L) износи 25.98 km, а одстојање од излазног профила, мерено по главном току до тачке у кориту која је најближа тежишту слива (Lc) износи 12.05

km. Апсолутни нагиб дна речног корита Топлице одређује се на основу разлике коте врха слива  $K_v$  и коте ушћа  $K_u$  према дужини слива по главном току, и износи:  $I_a = \frac{K_v - K_u}{L} = 3.88 \%$ . Уравнати пад дна речног корита добија се на основу следећег израза и износи:  $I_u = \frac{K'_v - K_u}{L} = 1.86 \%$ . Средња надморска висина слива износи 1010.75 m, а средња висинска разлика слива која се израчунава као разлика средње надморске висине слива и коте ушћа износи 470.78 m. Средњи пад слива ( $I_{sr}$ ) износи 31.27%.

Време концентрације за слив Топлице (профил Магово), зависно од израза, креће се у интервалу од 6.3 h до 6.8 h, а просек је 6.5 часова (Табела 6.27.).

Табела 6.27. Време концентрације за слив Топлице – профил Магово

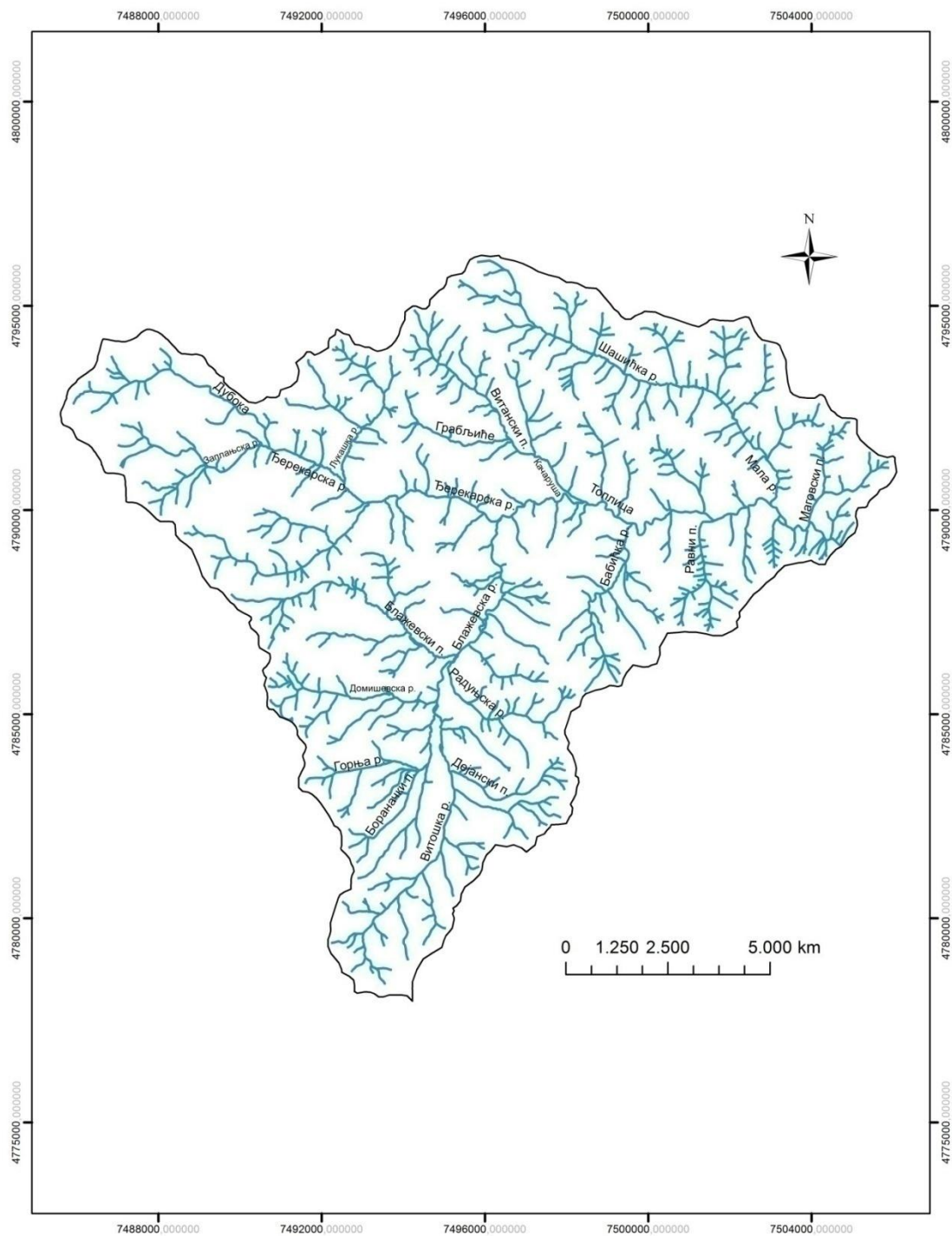
Време концентрације - $T_c$	h
$0,502 \cdot L^{0,506}$	6.8
$0,316 \cdot L^{0,933}$	6.6
$0,819 \left( \frac{L \cdot L_c}{\sqrt{I_u}} \right)^{0,376}$	6.3
$0,47 \cdot L^{0,826} \cdot I_u^{-0,127}$	6.3
$0,609 \cdot L^{0,898} \cdot I_{sr}^{-0,17}$	6.4
$0,56 \cdot L^{0,846} \cdot I_u^{-0,084} \cdot I_{sr}^{-0,08}$	6.4

Време кашњења према зависностима у табели 6.28. креће се у интервалу од 4.5 h до 4.7 h, а време опадања хидрограма према зависностима у табели 6.29. креће се у интервалу од 11.2 h до 11.4 h.

Табела 6.28. Време кашњења за слив Топлице – профил Магово

Време кашњења - $t_p$	h
$0,751 \left( \frac{L \cdot L_c}{\sqrt{I_u}} \right)^{0,336}$	4.7
$1,399 \left( \frac{L \cdot L_c}{\sqrt{I_u \cdot I_{sr}}} \right)^{0,315}$	4.5
$0,693 \cdot T_c$	4.5





Слика 6.36. Хидрографски систем слива Топлице, профил Магово

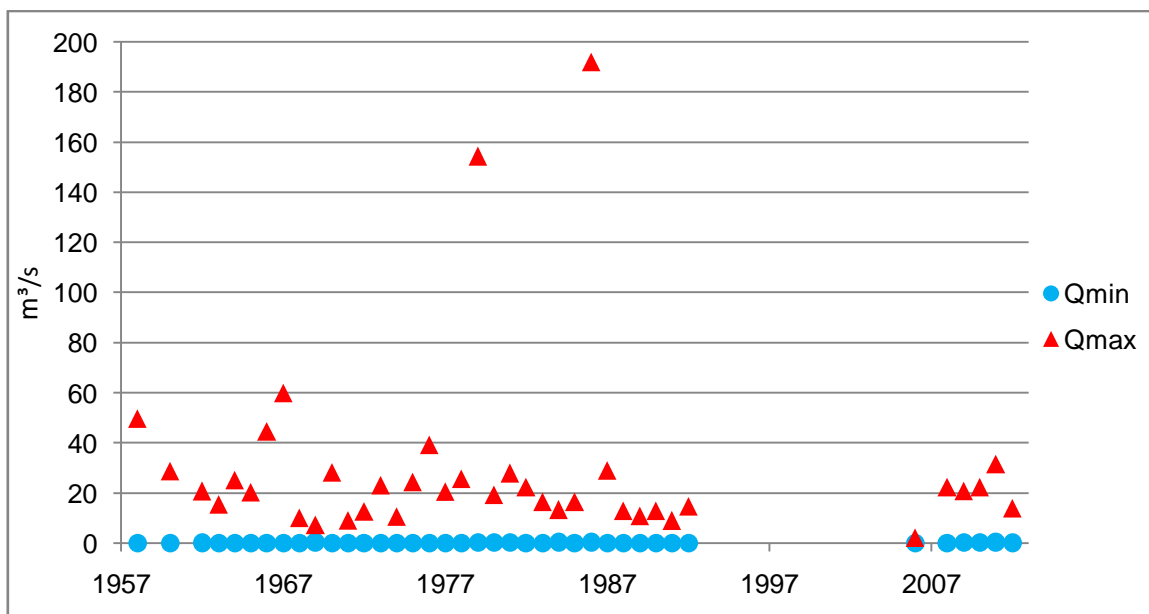
Табела 6.29. Време опадања хидрограма за слив Топлице – профил Магово

Време опадања - $T_r$	h
$1.145 \cdot A^{0.446}$	11.4
$L^{0.743}$	11.2



Слика 6.37. Лимниграф на водомерној станици Магово (Фото: С. Костадинов)

Наменско мерење водостаја и протицаја РХМЗС-е на профилу Магово почело је 1951. године и са прекидима траје до данас, с тим што је од 2006. године осавремењено и врши се дигитлним инструментима (Слика 6.37.). На основу слике 6.38. о максималним и минималним годишњим протицајима може се закључити о типично бујичном режиму отицаја воде у сливу Топлице, што је такође одлика и њених притока.



Слика 6.38. Карактеристични годишњи протицаји Топлице на профилу Магово

### 6.2.3. Климатске карактеристике

И поред релативно малог удаљења западног дела слива Топлице од Јадранског мора (220 km у правој линији), висока планинска препрека Копаоник, условљава континенталност климе у сливном подручју реке Топлице. Средња годишња температура на станици Копаоник износи 2.4 °C, на станици Пачарађа је 5.8 °C (Табела 6.30.), а на станици Куршумлија износи 10.25 °C, односно средња годишња температура повећава се са смањењем надморске висине. На станици Копаоник забележене су негативне средње дневне годишње температуре за 5 зимских месеци, а на станици Пачарађа за 3 зимска месеца. Најтоплији месеци су јул, август и јун, а јесењи месеци су топлији од пролећних. На режим отицаја има утицаја и пролећни ветар „југовина“ који нагло отапа снег што условљава пораст протицаја. Годишња сума и унутаргодишња расподела падавина и интензитети јаких пљускова су најважнији фактори од којих зависи режим вода реке Топлице и њених притока. На основу карте изохијета одређена је средња годишња висина падавина  $H_{\text{god}} = 891,9 \text{ mm}$  (Костадинов et al., 2001).

Табела 6.30. Средње месечне вредности температура ваздуха у °C за метеоролошке станице

Станица	Период	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ср. год.
Копаоник	1982.-2012.	-5.9	-6.4	-3.9	0.6	6.3	9.7	11.8	11.8	7.4	3.3	-0.9	-4.5	2.4
Пачарађа	1989.-2012.	-3.5	-2.6	1.1	5.2	10.2	13.7	14.8	14.1	10.2	6.2	1.6	-1.8	5.8

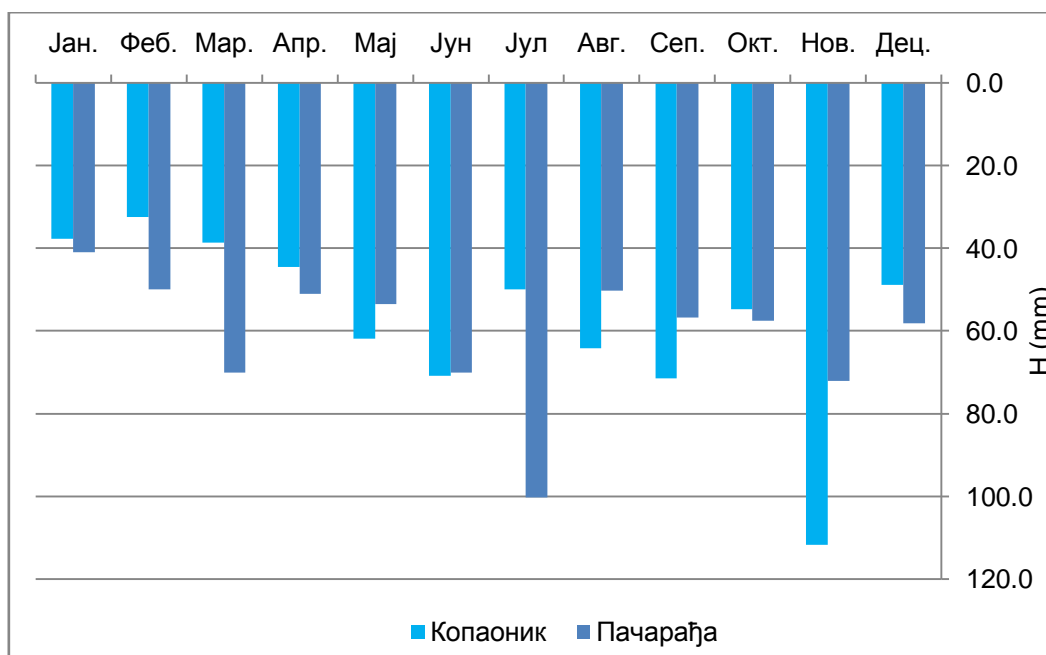
Извор: Из фонда података РХМЗС-е

Табела 6.31. Средње месечне и средње годишње вредности падавина у mm за метеоролошке станице (исти периоди осматрања)

Станица	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год.
Копаоник	58.0	60.5	68.9	83.0	108.5	111.3	91.4	82.1	81	63	71.3	68.5	947.5
Пачарађа	44.6	40.4	55.2	59.7	75.6	80.1	73.3	53.3	58.7	50.6	60.9	59.9	712.2

Извор: Из фонда података РХМЗС-е

Најкишовитији месеци су јун, мај и јул према подацима регистрованим на главној метеоролошкој станици Копаоник, односно јун, мај и јул према подацима забележеним на станици Пачарађа (Табела 6.31.). Према слици 6.39., апсолутно максималне дневне висине падавина забележене на станици Пачарађа највеће су у јулу месецу, а потом новембру, јулу и марту, а за станицу Копаоник, апсолутно максималне дневне висине падавина забележене су у новембру, а потом септембру и јуну. Претпоставља се да су апсолутно максималне дневне висине падавина, нарочито у летњој половини године, узимајући у обзир висину падавина која се креће у опсегу од преко 15 mm до преко 110 mm која су излучене у року од 24 часа, изазивале појаву поплавних таласа. Тако, на пример, приказана апсолутно максимална дневна количина падавина за месец јул ( $H = 100.2 \text{ mm}$ ) за цео период осматрања на станици Пачарађа, односи се на јаке кишне пљускове који су условили појаву чувеног поплавног таласа Топлице ( $Q_{\max} = 192 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , профил Магово) 17. јула 1986. године.



Слика 6.39. Приказ апсолутно максималних висина падавина по месецима за период 1968. – 2012. забележених на главној метеоролошкој станици Копаоник и период 1976.-2012. са прекидима на падавинској станици Пачарађа

#### 6.2.4. Геолошке карактеристике слива

За идентификацију геолошких карактеристика слива Топлице коришћене су основне геолошке карте размере 1:100.000 и тумачи за листове Куршумлија и Нови Пазар у издању Геолошког завода Србије.

У сливу горње Топлице до профила Магово највеће пространство заузимају флишни седименти (Табела 6.32., Слика 6.40.). Основу аренитско-алевролитске јединице, која представља флишну творевину барем-апта, чини алевролитска компонента са ситним зрнима кварца, глиновитом материјом и серицитом, прослојена ламилама ситнозрних пешчара са градационом слојевитошћу. У овом претежно ситнозрном стубу барем-аптске јединице јављају се два хоризонта са повећаним процентом пешчара, доњи је тањи и слабије изражен, а горњи је јаче изражен и издвојен као посебан пакет. Ови седименти су знатне дебљине и до 500 m, а њихова старост утврђена је на основу ретких налазака фауне у флишу у долини Радуњске реке. У сливу су заступљени и флишни седименти сенонске старости која је одређена на основу налазка бројне микрофауне. Сенонски флиш представљен је пешчарима, алевролитима и лапорцима. У оквиру флишне серије разликују се нижи, средњи и виши делови серије. Флишна серија почиње крупнозрним седиментима (калкарени и калцирудити) који су градационо слојевити.

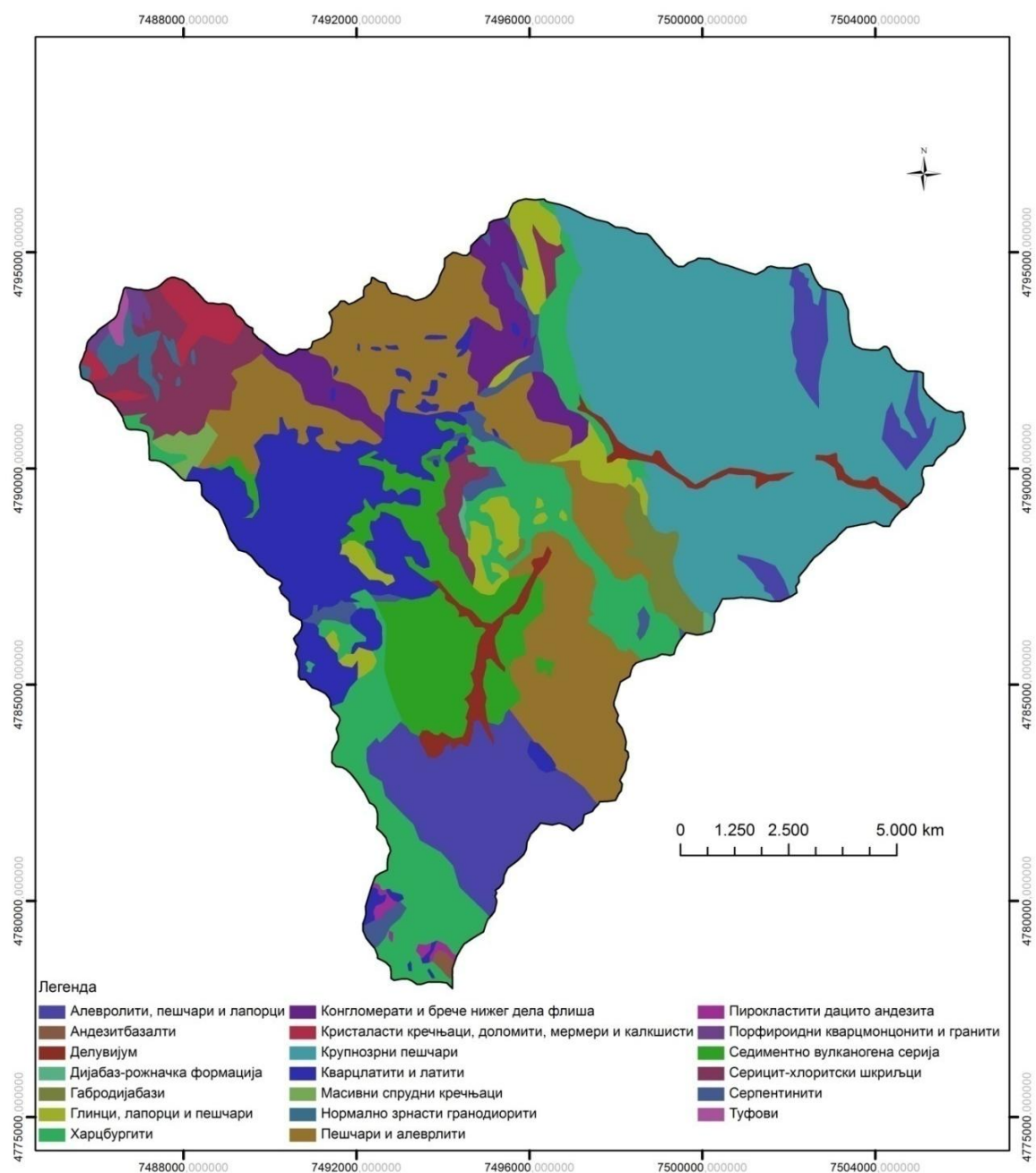
Присуство кварцлатита и латита у сливу Топлице, као и њихова петрохемијска сличност са гранитоидним стенама и њихови међусобни односи указују на субплутонску фазу вулканизма. Кварцлатитске масе су вероватно утиснуте дуж млађих разломних структура у старије дацито-андезите, серпентините, терцијарне и кредне седimente. Кварцлатити и латити леже преко или термички метаморфишу слатководне седimente који су вероватно доњемiocенске старости. Код кварцлатита запажени су крупни кристали санидина величине и до 5 cm, као и андезин, кварц, биотит, хорнбленда, ређе аугит.

У ултрамафитском комплексу идентификовани су харцбургити и дунити као и серпентинити. Харцбургити су зрнасте стене формиране од оливина, ромбичних и знатно ређе моноклиничних пироксена, серпентина, хромита и магнетита. Дунитски, односно пироксенитни варијетети, разликују се од харцбургита једино по повлачењу или изостајању пироксена или оливина.

Седиментно-вулканогена серија, која се назива и „дрвена серија“, јавља се у појасу Боранци - Домишевина - Бело Поље - Ђерекаре. Наласци фауне указују на слатководни карактер ове серије, која је стварана након таложења горњокредних седимената. Структуре седиментно-вулканогене серије уклапају се у тектонски склоп овог подручја што указује да је њен положај највероватније био условљен тектоником, а касније и вулканизмом, који је пратио ове орогене покрете.

Табела 6.32. Геолошки састав у сливу

Бр.	Геолошка подлога	A (km <sup>2</sup> )	%
1	Алевролити, пешчари и лапорци	96.69	55.74
2	Андезитбазалти	0.19	0.11
3	Алувијум	3.47	2.00
4	Дијабаз рожначка формација	0.09	0.05
5	Дунити	2.83	1.63
6	Габро дијабази	2.47	1.42
7	Глинци, лапорци, пешчари	5.50	3.17
8	Гранодиорити	1.54	0.89
9	Харцбургити	18.98	10.94
10	Хлоритски шкриљци	7.44	4.29
11	Кристаласти кречњаци, доломити, мермери	2.14	1.23
12	Кварцлатити	15.16	8.74
13	Латити	3.79	2.19
14	Пирокласити дацити андезита	0.40	0.23
15	Седиментно вулканогена серија	12.44	7.17
16	Серпентинити	0.02	0.01
17	Туфови	0.29	0.17
Σ	Укупно	173.46	100.00



Слика 6.40. Геолошки састав у сливу Топлице, профил – Магово

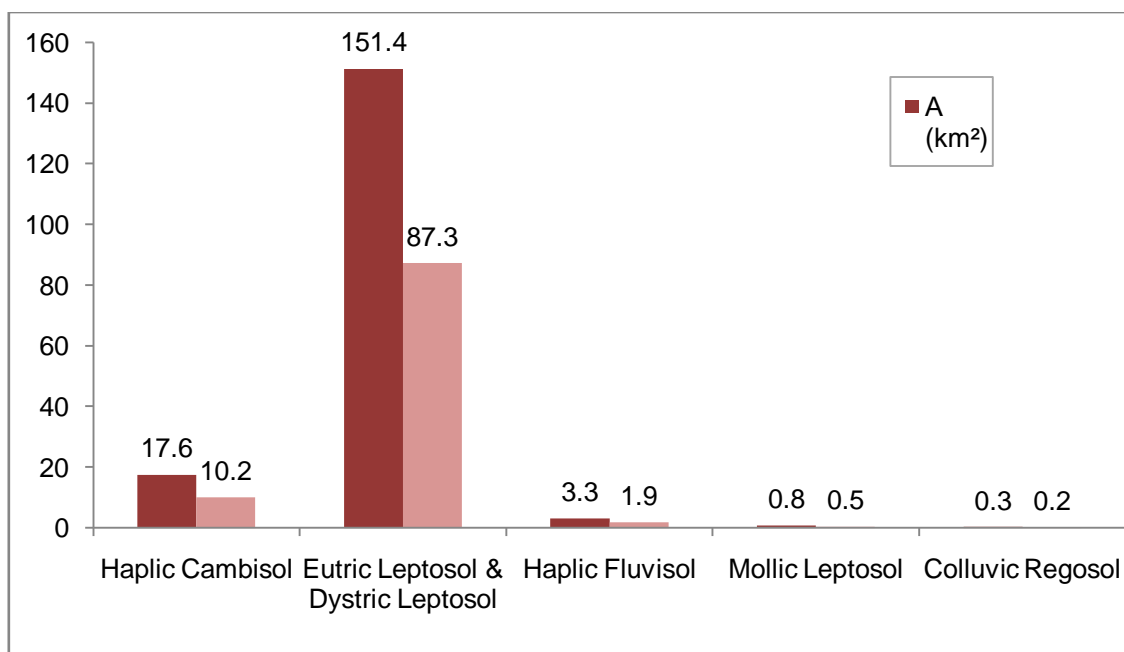
Делувијум, изграђен од кредних кречњака и мермера, перидотита и андезита, је утврђен на малој површини код села Боранце чија дебљина достиже и до 10 метара. Алувијум је заступљен у долини Бораначке реке и Топлице. Запажена је законитост таложења у вертикалном профилу на више места, у најнижим деловима алувијума су шљункови, а преко њих леже пескови, супескови и суглине.

Према еродибилности, најотпорније стене у експерименталном сливу су магматске стене – кварцлатити, гранодиорити, габро дијабази, потом харцбургити, на трећем месту су кристаласти кречњаци, доломити, кречњаци и серпантинити, а нанеотпорнији су флишни седименти.

### 6.2.5. Педолошке карактеристике

Типови земљишта заступљени у сливу Топлице до профила Магово издвојени су на основу дигитализоване педолошке карте (1979) Института за земљиште у Београду, а карактеристике типова земљишта дате су из литературе (Костадинов et al., 2001; Antić et al., 2007).

Разноврсност педолошког покривача у овом сливном подручју, с обзиром на заступљеност више типова, подтипова и варијетета земљишта (Слика 6.41. и 6.42.), резултат је разноликости матричног супстрата. Земљишта овог подручја су углавном врло плитка и плитка. Средње дубока су земљишта типа еутрично смеђе, алувијално и колувијално земљиште.



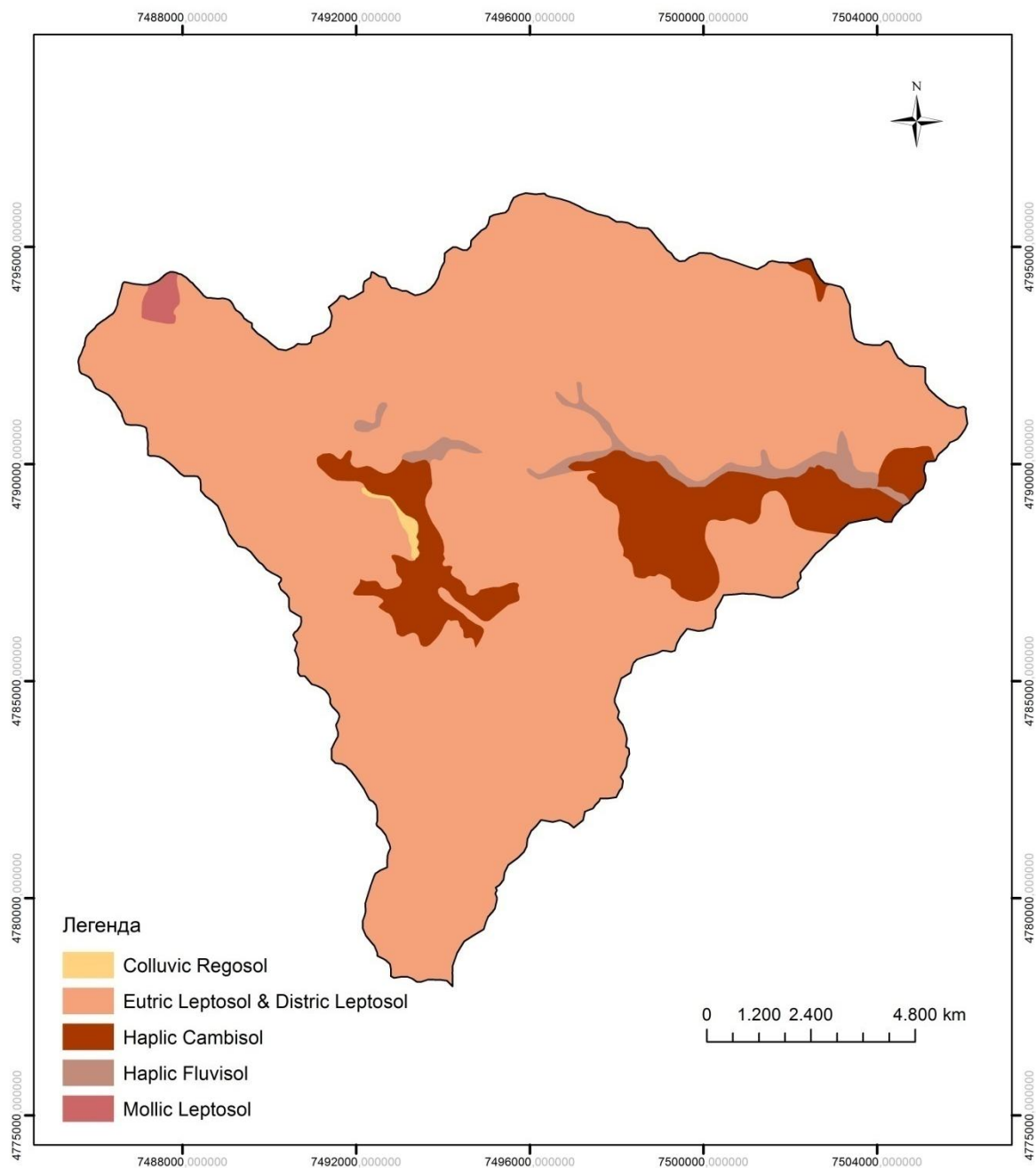
Слика 6.41.Педолошки састав слива Топлице – профил Магово



Еволуционо-генетичке серије земљишта садрже само прва два или три члана, зависно од матичног супстрата, док се стадијум псеудоглеја нигде не јавља. Еволуција се због орографског фактора најчешће зауставља у А-С стадијуму. Земљишта у сливу Топлице до профила Магово припадају следећим типовима (Костадинов et al. 2001) (називи су дати према старој и новој WRB класификацији):

- Колувијално земљиште дистрично, иловасто (Colluvic Regosol (Dystric, Siltic)) је неразвијено земљиште на делувијалном дацитско-андензитском наносу настало је у подножју падина у изворишном делу Блажевске и Ћерекарске реке. Припада подтипу дистричног силикатног колувијума, варијетету са превагом земљишног материјала. Профил је (А)-С, дубина солума средња, иловаст механички састав, јавља се на средњим нагибима (16-30%). Захвата веома малу површину слива.
- Калкомеланосол (Mollic Leptosol) је земљиште А-Р стадијума, а због релативно плитког хумусно-акумулативног хоризонта могао би се окарактерисати као А-АR-Р. Иловастог је механичког састава.
- Хумусно силикатно земљиште (Leptosol) је најраспрострањенији тип земљишта у сливу реке Топлице. Профил је А-С или А-Р, зависно од матичног супстрата. Постоји на свим силикатним супстратима, осим на андензиту где је дошло до преласка у следећу еволуциону фазу - смеђе еутрично земљиште. Јавља се са два подтипа:
  - хумусносиликатно земљиште еутрично (Eutric Leptosol), и
  - хумусносиликатно земљиште дистрично (Dystric Leptosol).
- Еутрично смеђе земљиште (Haplic Cambisol) је настало као следећи еволуциони стадијум хумусносиликатног земљишта на местима са мањим нагибом. Профил је А-(В)-С или А-(В)-Р. По механичком саставу је углавном иловача. Дубина солума је средња. Зависно од матичног супстрата јављају се подтипови:
  - еутрично смеђе земљиште на флишу (Haplic Cambisol (Eutric))и
  - еутрично смеђе земљиште на неутралним и базичним стенама (Leptic Cambisol (Eutric)).
- Алувијално земљиште (Fluvisol), некарбонатно, иловасто (Haplic Fluvisol (Eutric, Siltic)) је неразвијено земљиште са профилем (А) I-II-III-CG из реда

хидроморфних земљишта. Настало је на речном наносу Топлице, а затим и Бораначке, Ђерекарске и Блажевске реке. Углавном припада некарбонатном подтипу, а механички састав је иловаст. Солум је средње дубок и дубок.

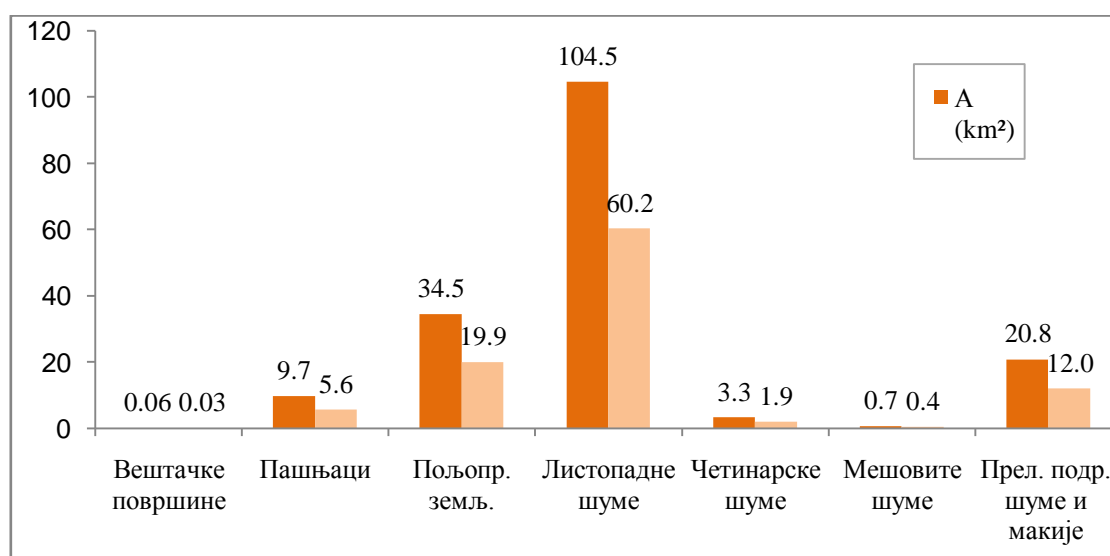


Слика 6.42. Педолошка карта слива Топлице, профил – Магово

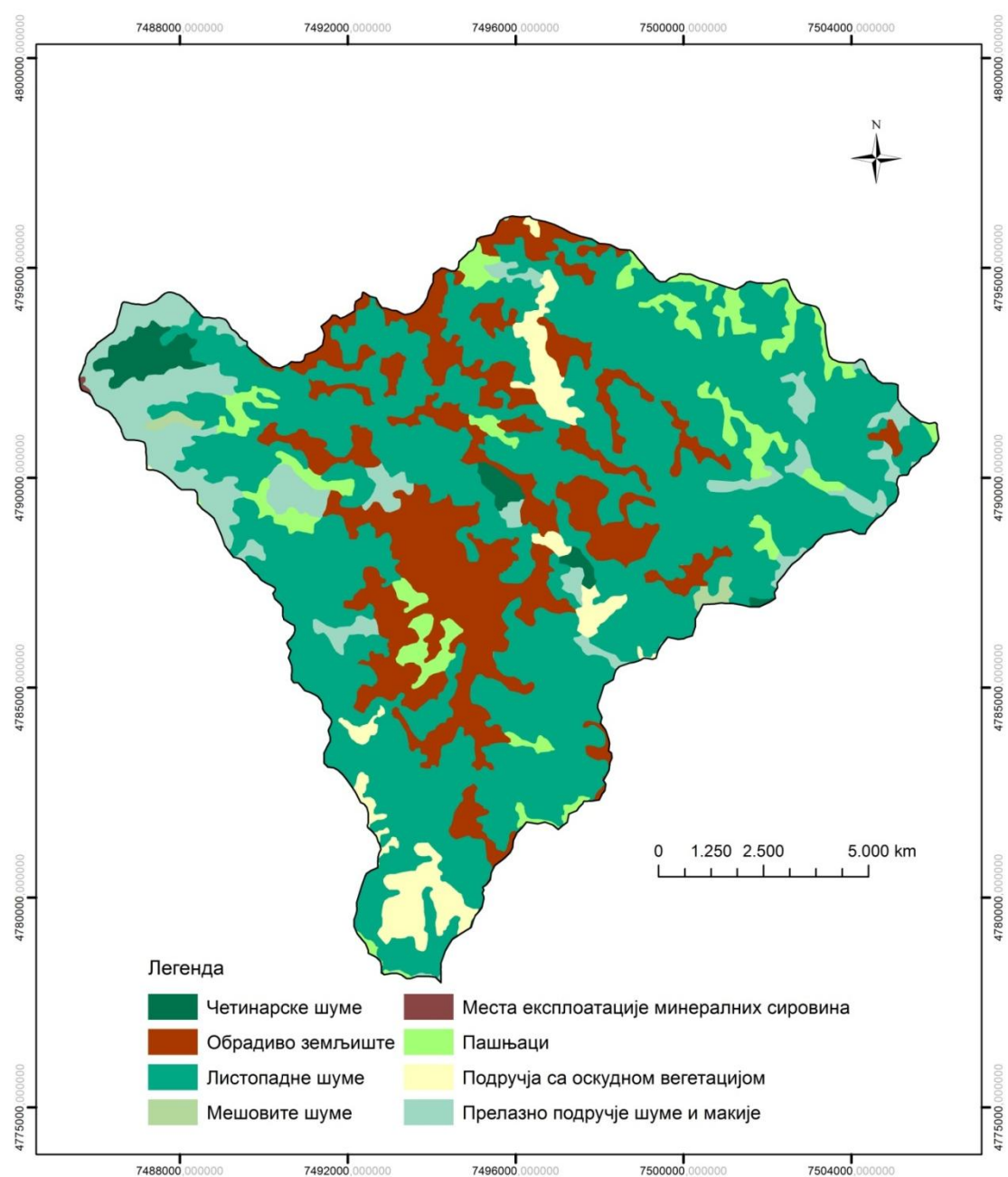
### 6.2.6. Начин коришћења и вегетационе карактеристике

Структура начина коришћења земљишта у сливу представљене су на основу дигитализоване карте начина коришћења земљишта CORINE (2006), а карактеристике вегетације су дате према ауторима студије Костадинов et al. (2001). Начини коришћења земљишта су груписани према потребама за одређеним параметрима за развој хидролошког модела (Слика 6.43. и 6.44.).

У структури начина коришћења земљишта доминирају површине под шумама четинарског, листопадног и мешовитог типа. Шума храста сладуна и цера (*Quercetum farnetto cerris*) је климатогена шума овог дела Србије и налази се на најнижим деловима слива и на јужним експозицијама. Шума храста китњака (*Quercus petraeae* slat.) јавља се у виду посебног појаса изнад шуме сладуна и цера. Брдска букова шума (*Fagetum montanum* Rud.) је највећим делом условљена орографски, тј. јавља се као трајни стадијум на хладнијим и свежијим стаништима региона хрстова. Налази се изнад појаса хрстова, а могу се јавити и ниже на северним експозицијама и удолинама. Шума букве и јеле (*Abieto-Fagetum serbicum* Jov.) налази се изнад брдске букове шуме и заузима знатно мању површину. Шума смрче (*Piceatum excelsae montanum* slat) и субалпска шума смрче (*Piceetum excelsae subalpinum* slat) заузимају површине на високим врховима у сливу.



Слика 6.44. Начин коришћења земљишта у сливу



Слика 6.43. Начин коришћења земљишта у сливу Топлице – профил Магово

Од пољопривредних површина заступљене су оранице, пашњаци и ливаде. Нарочито на већим нагибима у изворишним деловима Ђерекарске и Блажевске реке пашњаци су уништени ерозионим процесима па се сврставају у подручја са оскудном деградацијом, односно голети.

### 6.2.7. Ерозија у сливу

Стање ерозивних процеса у сливу Топлице представља резултат свеукупних физичкогеографских карактеристика у сливу (конфигурација терена, геолошки састав, педолошки покривач, вегетациони покривач, климатски фактори), односно ерозионе предиспозиције слива.

У сливу Топлице заступљени су процеси ерозије свих пет категорија интензитета, односно разорности. У табели 6.33. дата је представа о присутности ерозије различитих категорија у неким сливовима притока Топлице. Највећи средњи коефицијент ерозије израчунат је у сливу Качаруше ( $Z=0.56$ , средња ерозија), а нешто ниже вредности коефицијента  $Z$  израчунате су за сливове Ђерекарске реке (0.55), Блажевске реке (0.53) и Мале реке (0.52) (Костадинов et al, 2001).

Табела 6.33. Ерозија у сливовима неких притока Топлице

Слив	Екцесивна ерозија		Јака ерозија			Средња ерозија			Слаба ерозија			Врло слаба	
	1.25	1.10	0.95	0.85	0.75	0.65	0.55	0.45	0.35	0.30	0.22	0.10	
Маговска р. $A=6.38\text{km}^2$	-	-	-	0.23	0.19	0.75	1.42	0.09	1.17	2.53	-	-	
Мала р. $A=25.26\text{km}^2$	-	-	1.34	0.79	2.22	4.91	5.01	1.17	3.72	4.72	1.39	-	
Качаруша $A=22.51\text{km}^2$	0.08	-	0.09	0.62	4.81	3.06	7.76	1.13	-	4.66	0.29	-	
Ђерекарска р. $A=41.98\text{km}^2$	-	1.62	0.09	2.11	2.57	9.08	11.09	4.03	8.77	-	2.61	-	
Блажевска р. $A=59.27\text{km}^2$	4.12	-	-	1.54	6.22	6.78	12.62	5.10	-	21.92	-	0.97	

Извор: Костадинов et al, 2001

Сливи Мале реке, Качаруше, Ђерекарске реке и Блажевске реке чине изворишни део слива, тј. сабирну членку реке Топлице са израженијом конфигурацијом и енергијом рељефа него низводни делови слива у односу на профил Магово. Свака неопрезна деградација вегетације нарочито шумског покривача резултира у повећању интензитета ерозије у сливу. Доминантна је површинска ерозија која резултира у генези велике количине суспендованог наноса који се транспортује низводно у акумулацију „Селова“ чиме се смањује корисна запремина акумулације.



Слика 6.45. а) Пошумљавање голети на десној падини Качаруше б) Горњи део слива Топлице в) Преграда на реци Качаруши (Фото: С. Костадинов)

### 6.2.8. Припрема релевантних података за развој хидролошког модела отицаја

Геолошке и педолошке карактеристике и начин коришћења земљишта, односно вегетационе карактеристике у сливу Топлице приказане су у форми GRID-матрица са кодовима за сваки тип геолошке основе, тип земљишта и начин коришћења земљишта, односно тип вегетације, као што је представљено у подпоглављу 3.4. Тако је свакој GRID-ћелији додељен одговарајући тип геолошке подлоге, тип земљишта и начин коришћења земљишта.

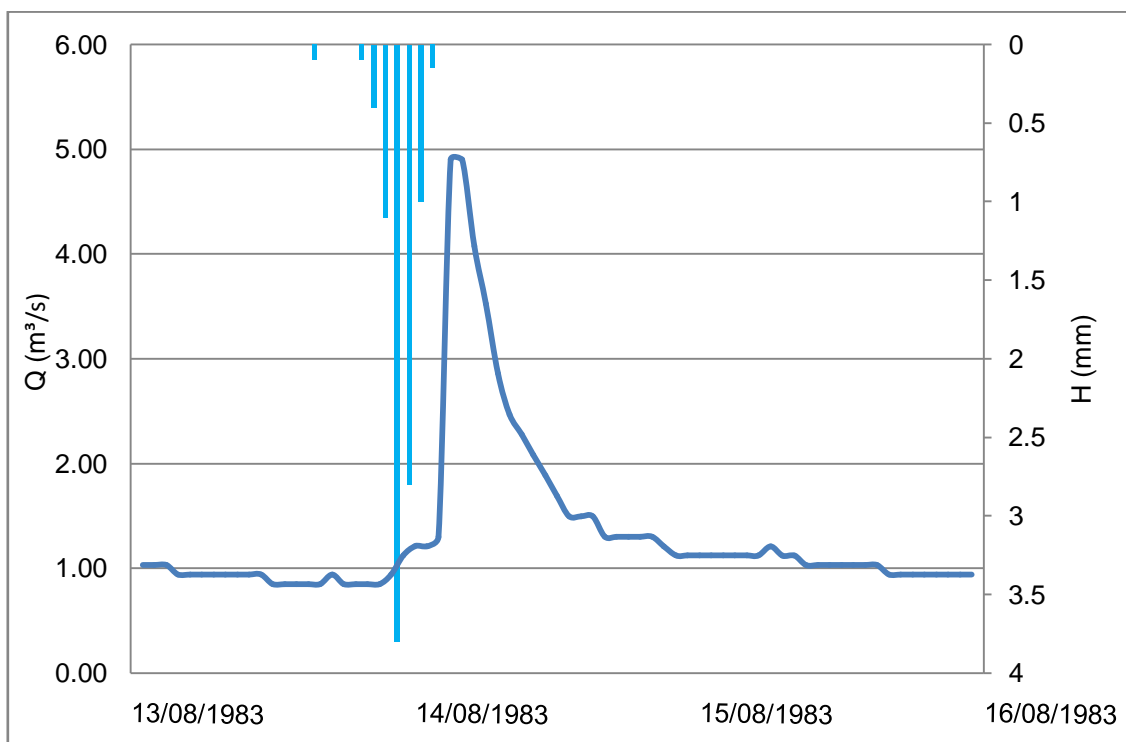
За симулацију отицаја у време поплавних таласа у сливу Топлице до профила Магово узети су карактеристични хидрограми (Слика 6.46. - 6.49.), који су издвојени на основу серије података о протицају на хидролошком профилу Магово, и часовне вредности меродавних кишних падавина, које су условиле појаву поплавног таласа. Коришћене су часовне вредности потенцијалне евапотранспирације током поплавних таласа. У табели 6.34. дефинисани су периоди симулације са карактеристикама епизода киша, односно трајањем, укупном сумом и средњим интензитетом кишних падавина.

Табела 6.34. Периоди симулације и карактеристике епизода киша, слив Топлице

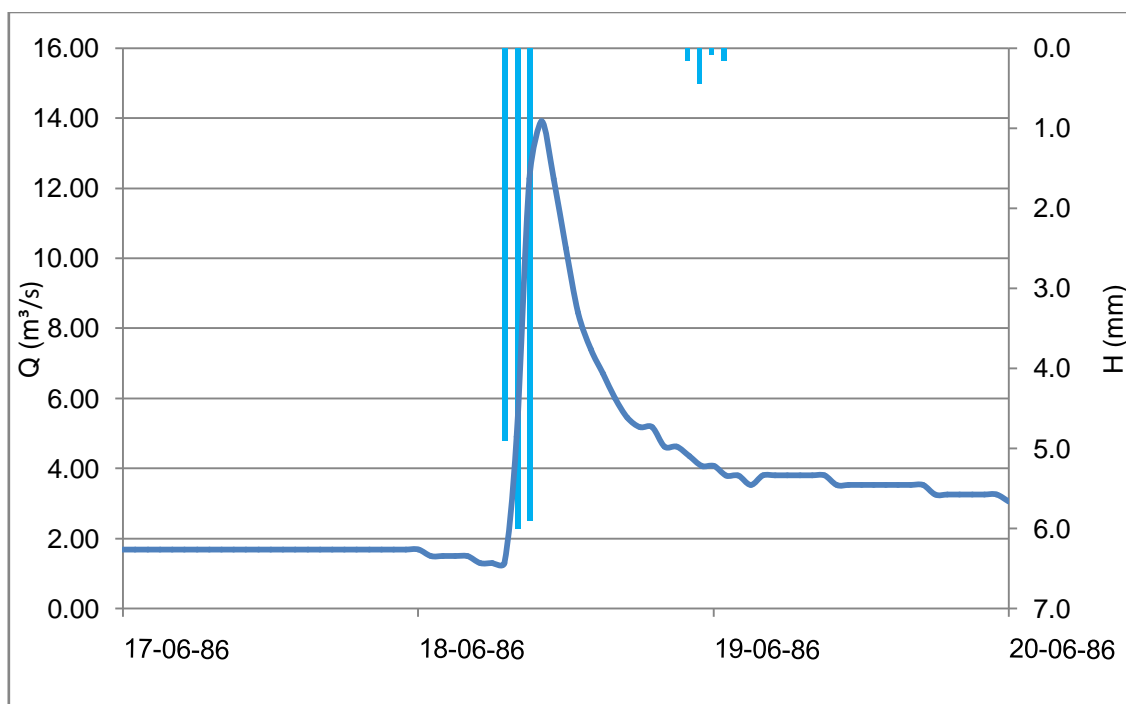
Бр. хидр.	Период симулације	Епизоде киша	$T_k$ (h)	$\sum P$ (mm)	$I_{sr}$
13.	13.-14.08.1983.	13.-14.08.1983.	8	9.5	1.19
14.	17.-20.06.1986.	17.-19.06.1986.	7	15.6	2.23
15.	16.-18.07.1986.	16.-17.07.1986.	7	97.7	13.96
16.	03.-06.08.2010.	04.08.2010.	6	24.2	4.03

Као и за слив Топчидерске реке, и за слив Топлице коришћена је метода изохијета како би се добили подаци о средњим меродавним количинама падавина за цео слив. За слив Топлице коришћене су часовне вредности падавина са главне метеоролошке станице Копаоник или кишомерне станице Куршумлија (у зависности од релевантности података) и дневне вредности падавина са

падавинских станица Пачарађа, Трећак, Блажево, Штаве, Брзеће, Копаоник (Слика 6.54.).

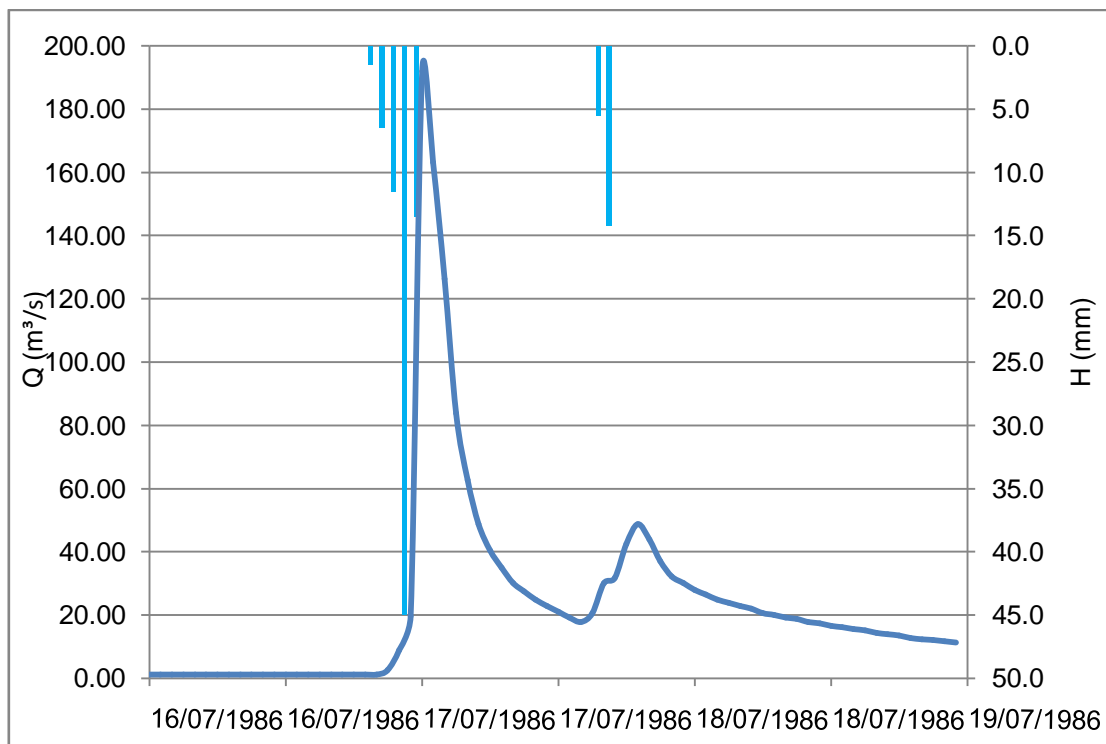


Слика 6.46. Кишна епизода и хидрограм поплавног таласа Топлице из 1983.

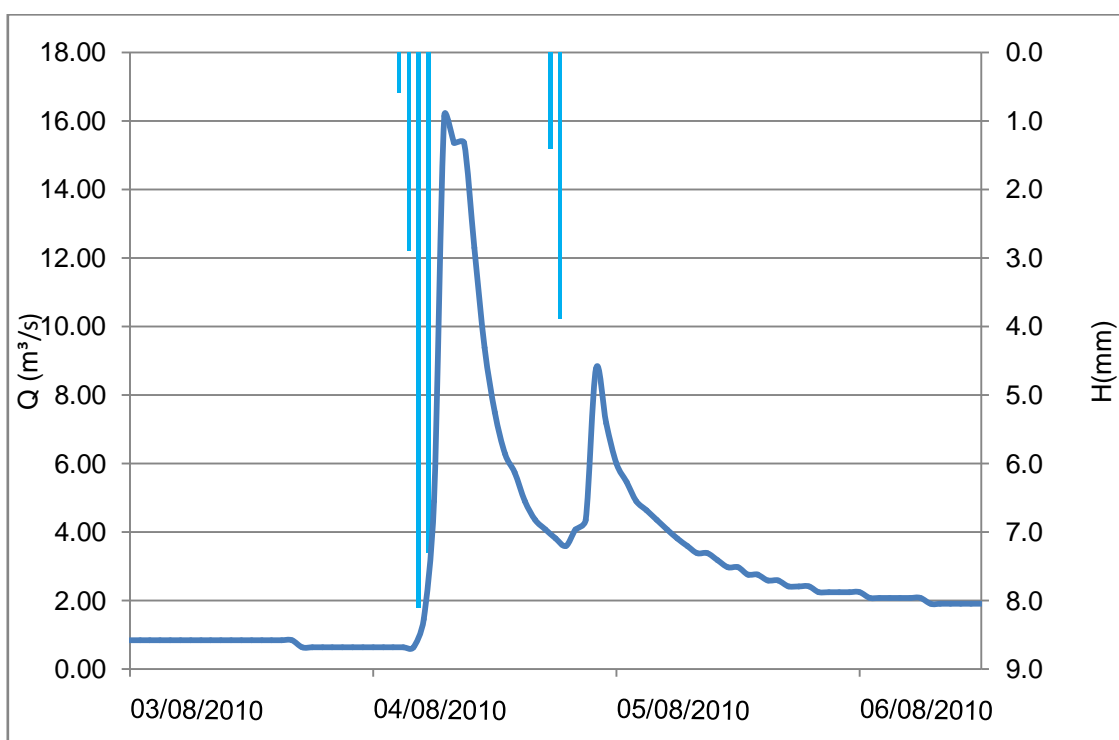


Слика 6.47. Кишна епизода и хидрограм поплавног таласа Топлице из јуна 1986.

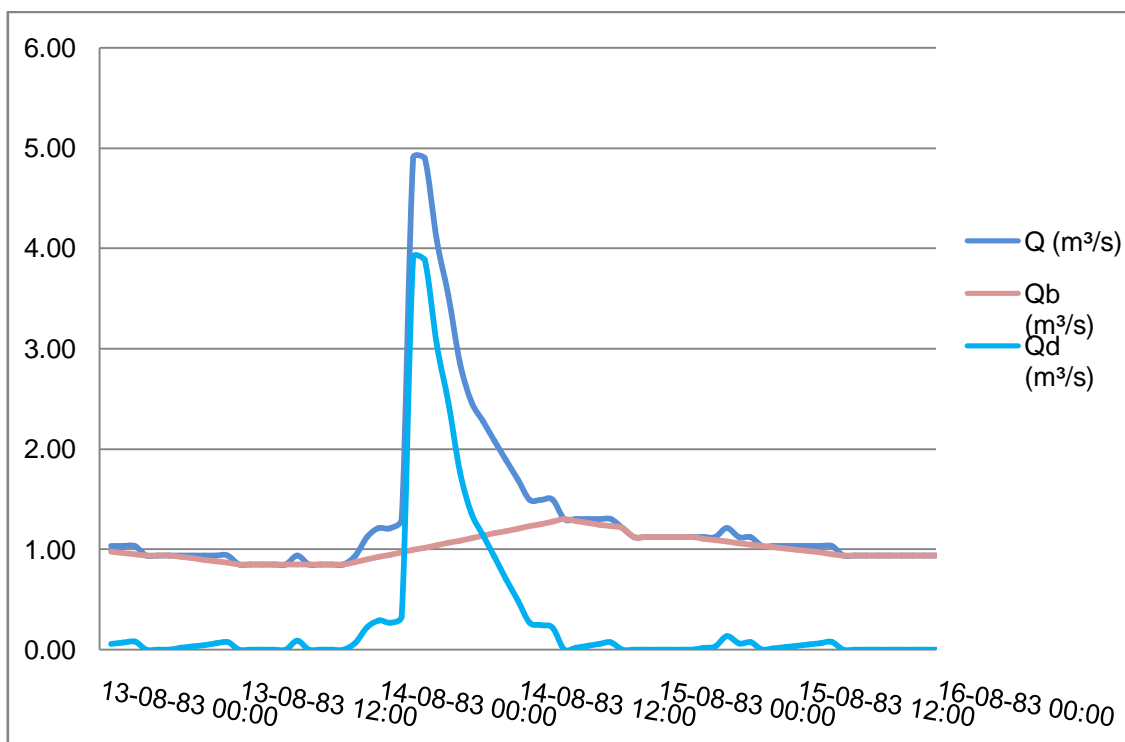




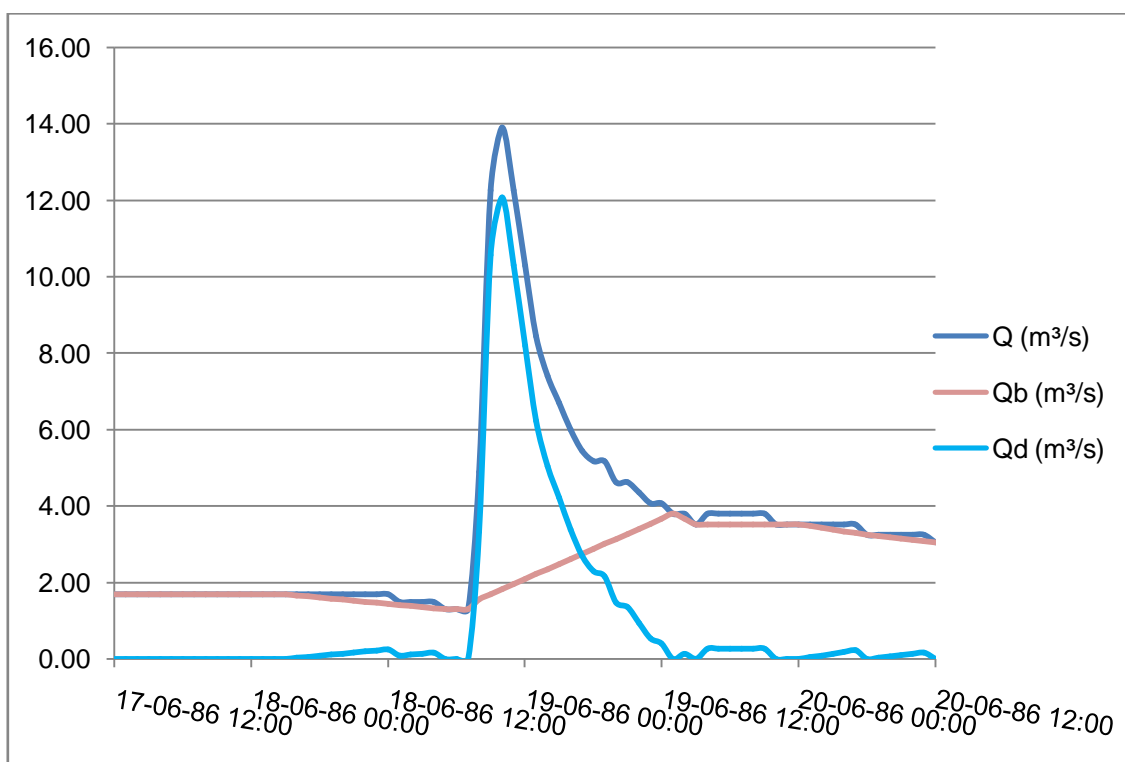
Слика 6.48. Кишна епизода и хидрограм поплавног таласа Топлице из јула 1986.



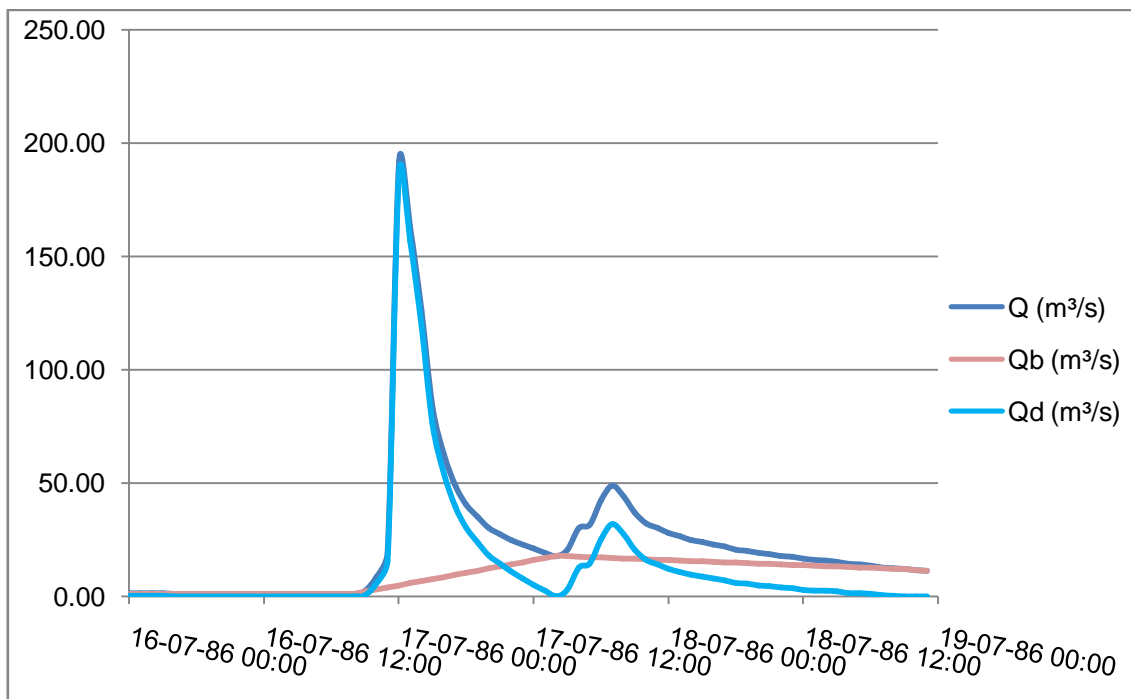
Слика 6.49. Кишна епизода и хидрограм поплавног таласа Топлице из авг. 2010.



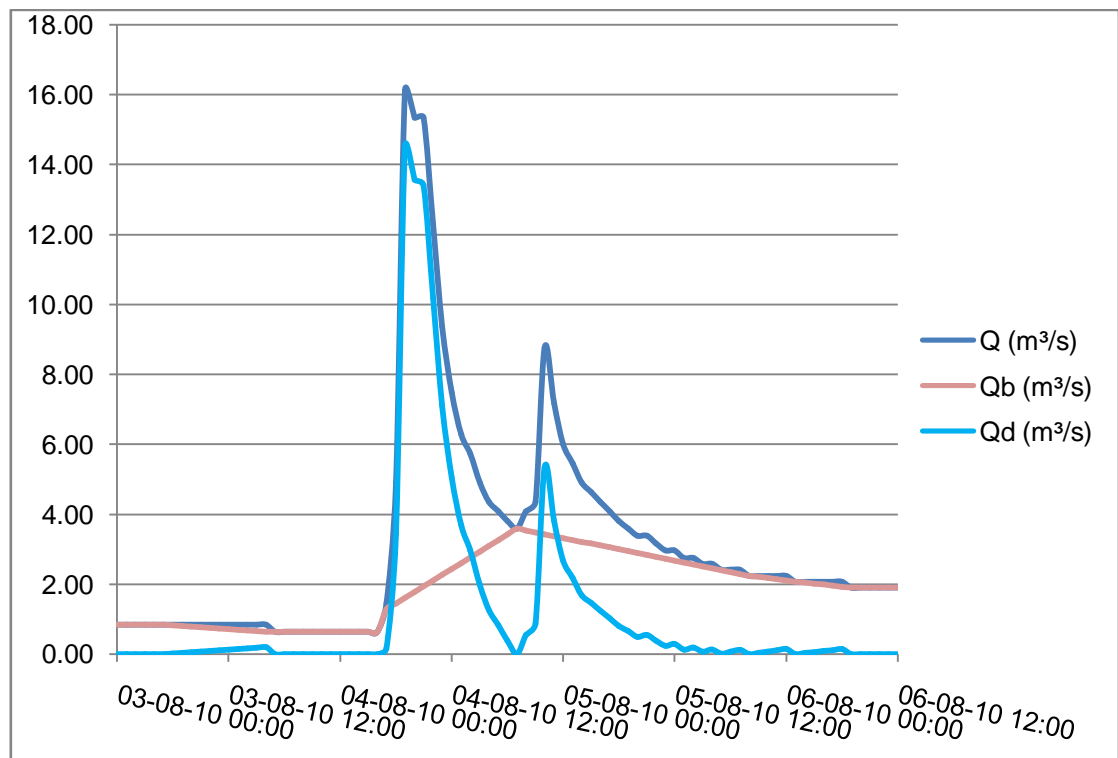
Слика 6.50. Директни и базни отицај током поплавног таласа августа 1983. године



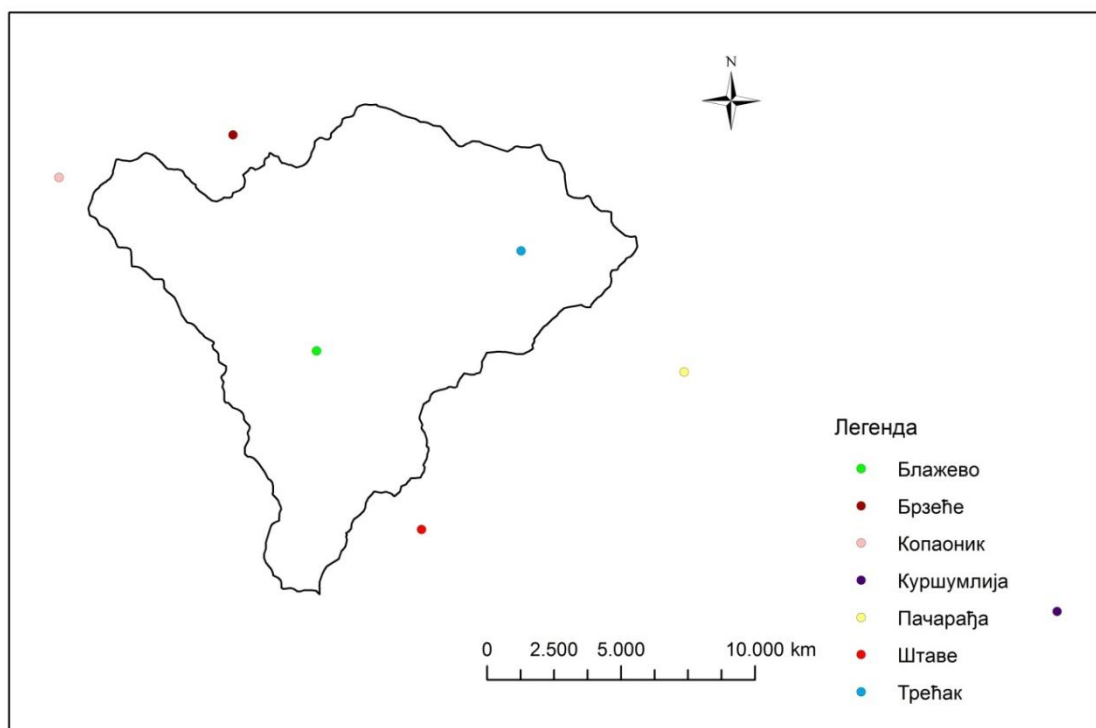
Слика 6.51. Директни и базни отицај током поплавног таласа јуна 1986. године



Слика 6.52. Директни и базни отицај током поплавног таласа јула 1986. године



Слика 6.53. Директни и базни отицај током поплавног таласа августа 2010. године



Слика 6.54. Мрежа падавинских станица у сливу Топлице коришћена за методу изохијета

Иако се главна метеоролошка станица Копоник налази близу Панчићевог врха, на наветринској страни планинске пречаге, подаци о кишним падавинама за одабране епизоде киша су задовољавајући па је оцењено да се могу користити у сврху интерполације.

За анализу поплавног таласа коришћен је програм BFI, па су тако раздвојени су базни отицај и директни отицај (Слика 6.50. - 6.53.) од укупног отицаја за наведене поплавне таласе. На основу табеле 6.35. може се закључити о уделу базног отицаја у укупном отицају, који је био најмањи у време највећег поплавног таласа из јула 1986. године ( $BFI = 0.401$ ), а највећи у време поплавног таласа из 1983. године са не тако високим максималним протицајем ( $BFI = 0.771$ ).

То такође значи да је запремина базног отицаја ( $W_b$ ) у поплавном таласу из 1983. године имала највећи удео у укупној запремини отицаја ( $W_t$ ), а у поплавном таласу 1986. године највећи удео у укупној запремини отицаја имала је запремина

директног отицаја ( $W_d$ ). Специфични максимални протицај ( $q_{\max sp}$ ) највећи је у случају поплавног таласа из јула 1986. године (1.106), а најмањи из 1983. године (0.028).

Табела 6.35. Неке карактеристике репрезентативних поплавних таласа Топлице

Поплавни талас	$W_d$ ( $10^6 \text{ m}^3$ )	$Q_{d\max}$ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	$W_b$ ( $10^6 \text{ m}^3$ )	$Q_{b\max}$ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	$W_t$ ( $10^6 \text{ m}^3$ )	BFI ( $W_b/W_t$ )	$Q_{\max}$ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	$q_{\max sp}$ ( $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ )
13.-14.08.1983.	1.98	3.908	6.67	1.300	8.65	0.771	4.90	0.028
17.-20.06.1986.	6.91	12.079	15.25	3.800	22.16	0.688	13.9	0.079
16.-18.07.1986.	89.03	187.182	59.52	17.760	148.55	0.401	192.00	1.106
03.-06.08.2010.	9.10	14.513	13.29	3.590	22.39	0.594	16.1	0.093

Подаци о механичком саставу и текстури различитих типова земљишта заступљених у сливу Топлице су дати на основу фонда података Шумарског факултета у Београду, Института за земљиште у Београду, као и литературе (Antić, 2007). У табели 6.36. дати су подаци о хоризонтима земљишта заступљених у сливу Топлице до профила Магово, тј. њихова припадности текстурним класама и просечне вредности параметара водно - физичких својстава према ауторима Rawls (1982).

У претходном одељку су у табелама 6.10, 6.12. – 6.15. дате вредности односа стварне и потенцијалне евапотранспирације за различите начине коришћења земљишта, односно врсте вегетације, у зависности од тензије земљишне влаге; подаци о функцији густине кореновог система; просечне вредности евапотранспирационо - интерцептивних параметара; вредности коефицијента рапавости за водотоке и различите врсте вегетације; просечне вредности Дарсијевог коефицијента филтрације за различита врста земљишта и стенских маса и специфичне издашности за стене.

Геолошки састав слива Топлице у ком учествују различите стене из групе магматских метаморфних и седиментних стена је веома разноврстан. Међутим, раседи, који су на основним геолошким картама исцртани испрекиданим дебелим

линијама, условили су велику расцепканост речне мреже и еродибилност присутних стена. Најподложније дејству воде су флишне седиментне и вулканогено-седиментне стене (Костадинов et al., 2001).

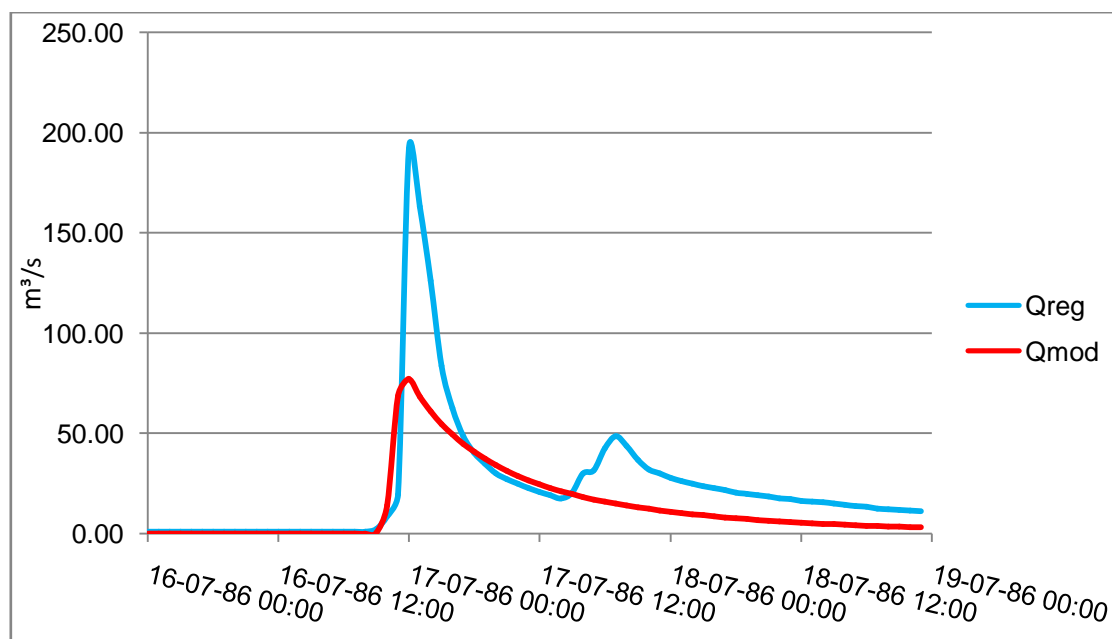
Табела 6.36. Текстурни састав земљишта и параметри водно - физичких својстава

Тип земљишта	Дубина (cm)	Текстурни састав	$w_s$	$w_r$	$\alpha$	$n$	$K_s$ (m/d)
Флувисол	0-27	глиновита иловача	0.153	0.489	0.0092	1.756	0.055
	27-50	иловача	0.078	0.430	0.0120	1.560	0.163
	50-80	глиновита иловача	0.153	0.489	0.0092	1.756	0.055
	>80	глиновита иловача	0.153	0.489	0.0092	1.756	0.055
Еутрични камбисол	0-26	глиновита иловача	0.153	0.489	0.0092	1.756	0.055
	26-45	глинуша	0.326	0.544	0.0005	1.443	0.014
	45-75	глинуша	0.326	0.544	0.0005	1.443	0.014
Колувијум	0-25	песковито глиновита иловача	0.167	0.461	0.0012	2.300	0.103
	25-47	песковито глиновита иловача	0.167	0.461	0.0012	2.300	0.103
	47-90	песковито глиновита иловача	0.167	0.461	0.0012	2.300	0.103
	90-110	иловача	0.078	0.430	0.0120	1.560	0.163
Калкомеланосол	0-35	прахаста иловача	0.144	0.507	0.0072	1.608	0.036
	40-70	прахаста иловача	0.144	0.507	0.0072	1.608	0.036
	70-90	прахаста иловача	0.144	0.507	0.0072	1.608	0.036
Ранкер	0-24	песковито глиновита иловача	0.167	0.461	0.0012	2.300	0.103
	24-40	песковито глиновита иловача	0.167	0.461	0.0012	2.300	0.103

Може се закључити да су првобитне особине чврстих магматских стена знатно измењене што се коначно одражава на њихове особине филтрације. Имајући у виду распоне вредности Дарсијевог коефицијента филтрације за различите стене

(Табела 6.10.), који представља најбитнији параметар у модулу отицаја у засићеној зони, а с обзиром на значајну измењеност првобитних особина чврстих магматских стена, калибрација овог параметра ће се вршити у распону  $2.74 \cdot 10^{-6}$ -10 на нивоу слива Топлице.

Када су сви потребни подаци спремни, може се покренути GUI апликација SHETRAN-а што представља почетни корак у развоју модела отицаја у сливу (Слика 6.55.). Овим поступком, на основу ДМВ-а и маске слива, одабиром доминантог начина коришћења земљишта, односно вегетације са припадајућим вредностима параметара, доминантног типа земљишта са припадајућим вредностима параметара, хидролошких и метеоролошких података за дати поплавни талас, формира се првобитни моделирани хидрограм чија је максимална ордината обично знатно нижа у односу на регистровани хидрограм а њихови облици се такође не подударају.



Слика 6.55. Хидрограм добијен покретањем GUI апликације на примеру Топлице

Покретањем GUI апликације аутоматски се формирају речна мрежа (Слика 3.11.), која је интегрисана у гридну мрежу слива (Слика 3.10.), и инпут фајлови који служе за потхрањивање модела у наредној фази калибрације, чији су резултати видљиви у пратећим излазним фајловима.

### 6.2.9. Анализа осетљивости модела отицаја

При испитивању осетљивости модела мењана је вредност само једног параметра како би се најбоље уочила величина утицаја сваког од њих. Осетљивост модела је испитивана са горњим и доњим вредностима параметара (Табела 6.37.) који утичу на величину отицаја (Табела 6.38.).

Табела 6.37. Интервали вредности параметара за анализу осетљивости

Параметри	Мин.	Макс.	Јединица
$K_z$	0.0126	0.1793	m/d
$K_s$	$2.74 \cdot 10^{-6}$	10	m/d
$S_o$	4	60	$m^{1/3} s^{-1}$
$S_r$	20	40	$m^{1/3} s^{-1}$

Табела 6.38. Утицај вредности параметара на вршни протицај

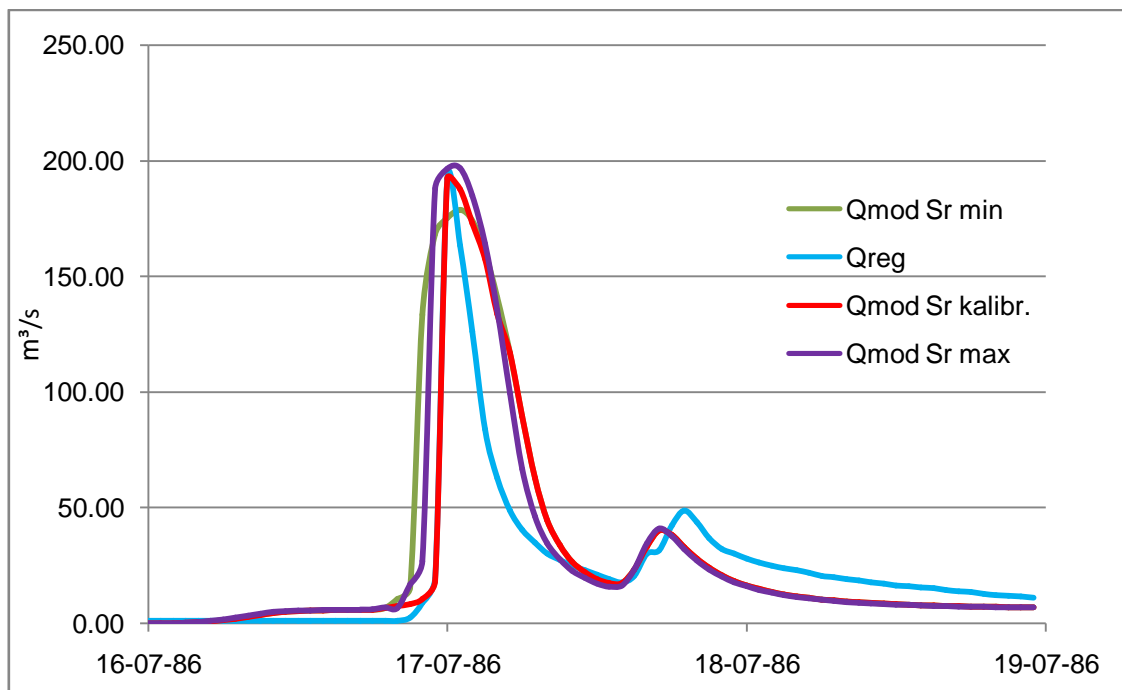
Параметри	min	max	$\Delta Q$	%
$Q_{Kz}$	219.55	140.48	79.07	-36.01
$Q_{Ks}$	231.95	183.83	48.12	-20.75
$Q_{So}$	170.84	190.91	20.07	+11.75
$Q_{Sr}$	178.65	196.72	18.07	+10.11

Слике 6.56. - 6.59. дају графичку представу о утицају на отицај, односно хидрограм, сваког од наведена четири параметра. На основу хидрограма, може се закључити да највеће варијације моделираних отицаја условљавају доње и горње граничне вредности Дарсијевог коефицијента филтрације за земљишта ( $\Delta Q = 79.07 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , смањење  $Q_{\text{max}}$  за 36.01 %), потом Дарсијевог коефицијента филтрације за геолошку основу ( $\Delta Q = 48.12 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , умањење  $Q_{\text{max}}$  за 20.75 %) и Стриклеровог коефицијента рапавости површинског отицаја ( $\Delta Q = 20.07 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , повећање  $Q_{\text{max}}$  за 11.75 %), а најмање Стриклеровог коефицијента рапавости речног корита ( $\Delta Q = 18.07 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , повећање  $Q_{\text{max}}$  за 10.11 %),.

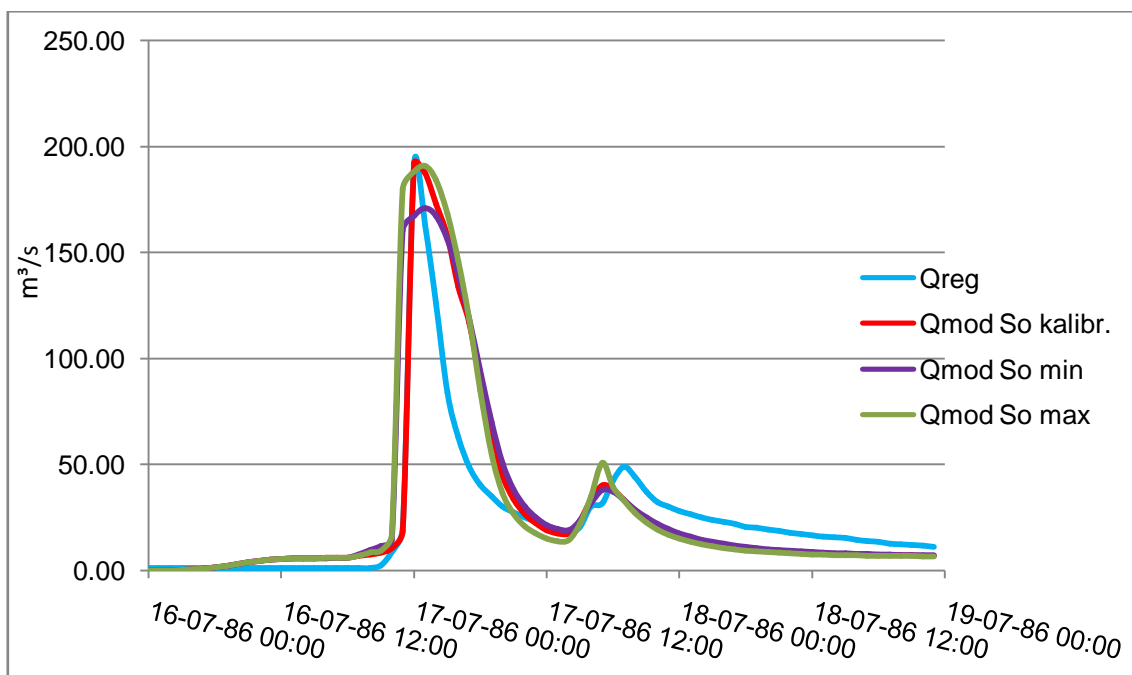


Утицаји горњих и доњих граничних вредности параметара на вршну ординату у односу на поплазни талас из 1986. године ( $Q_{\max} = 192 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) за који се врши калибрација модела, квантификовани су у процентима. Тако, на пример, при максималној вредности Стриклеровог коефицијента за површински отицај  $S_{\max}$ , вршни протицај  $Q_{\max}$  је мањи за 0.57 %, а при минималној мањи за 11.02 % у односу на регистровани вршни протицај. При максималној вредности Стриклеровог коефицијента за речна корита  $S_{\text{rmax}}$ , вршни протицај  $Q_{\max}$  већи је за 2.46 %, а при минималној  $S_{\text{rmin}}$ , мањи је за 6.95 % у односу на регистровани вршни протицај. При максималној вредности Дарсијевог коефицијента филтрације за земљишта  $K_{z\max}$ , вршни протицај  $Q_{\max}$ , умањује се за 26.83 %, а при минималној увећава се за 14.35 % у односу на регистровани вршни протицај. При максималној вредности Дарсијевог коефицијента филтрације за стене  $K_{s\max}$ , вршни протицај  $Q_{\max}$ , умањује се за 4.26 %, а при минималној увећава се за 20.81 % у односу на регистровани вршни протицај ( $Q_{\max} = 192 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ).

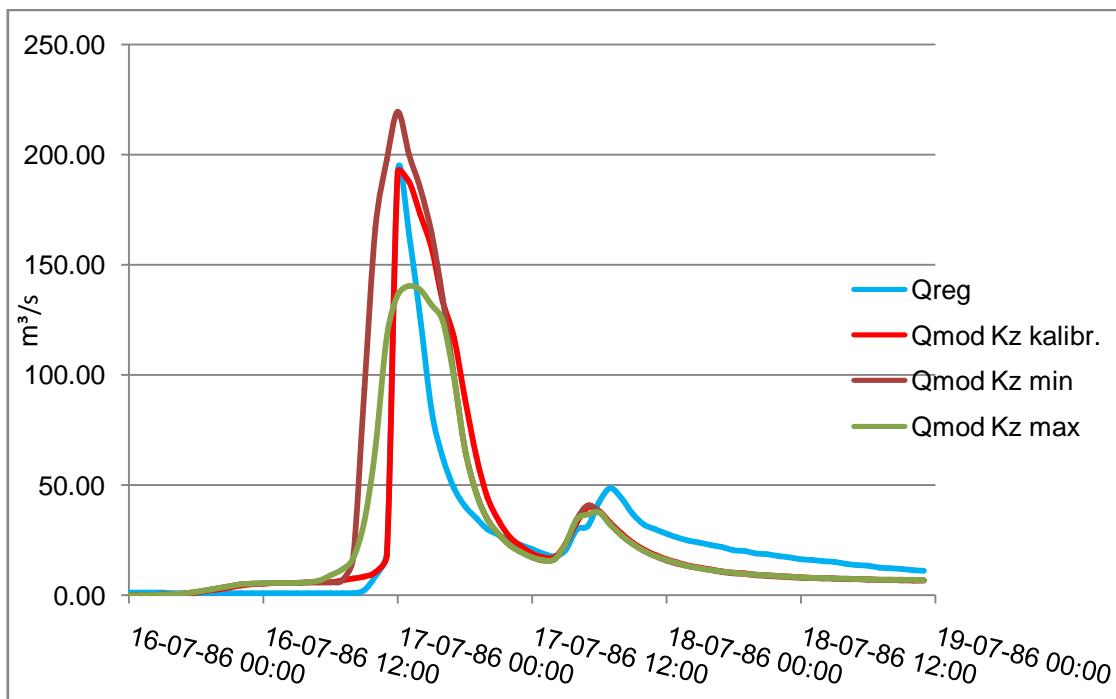
Као и у случају модела отицаја за слив Топчидерске реке, може се закључити о следећим релацијама. Што је виши Стриклеров коефицијент рапавости за површински отицај и речна корита, а мањи коефицијент хидрауличног кондуктивитета за земљишта и за стене, то ће максимална ордината хидрограма виша, а могу се очекивати и стрмије гране пораста и рецесије. Супротно томе, када је хидрауличка проводљивост земљишта и стена већа, Стриклеров коефицијент рапавости терена и водотокова мањи, формирају се хидрограми са нижом максималном ординатом и гранама блажег нагиба.



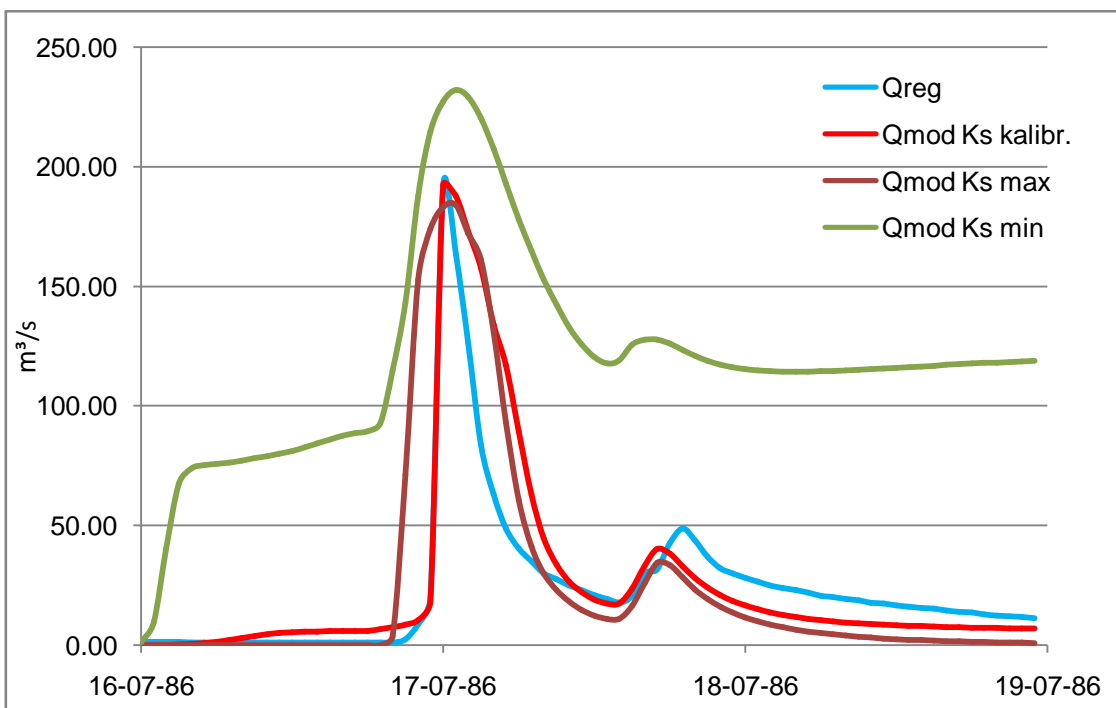
Слика 6.56. Хидрограми регистрованог и моделираног отицаја при варијацији параметра коефицијента рапавости речног корита



Слика 6.57. Хидрограми регистрованог и моделираног отицаја при варијацији параметра коефицијента рапавости за површински отицај



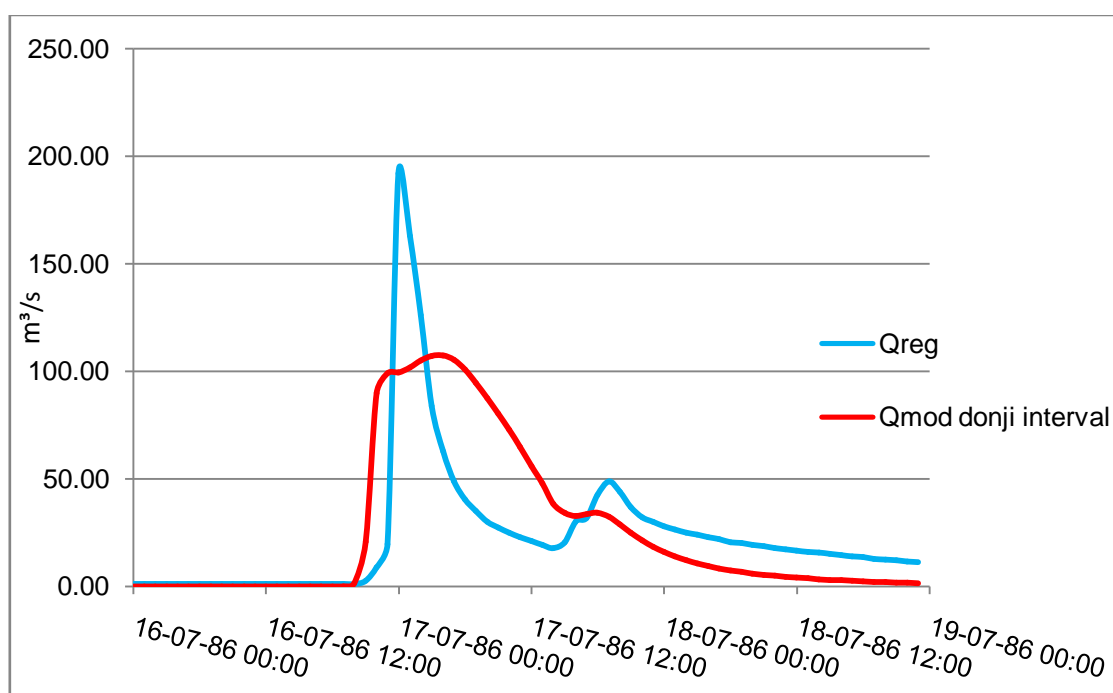
Слика 6.58. Хидрограми регистрованог и моделираног отицаја при варијацији параметра коефицијента хидрауличног кондуктивитета за земљишта



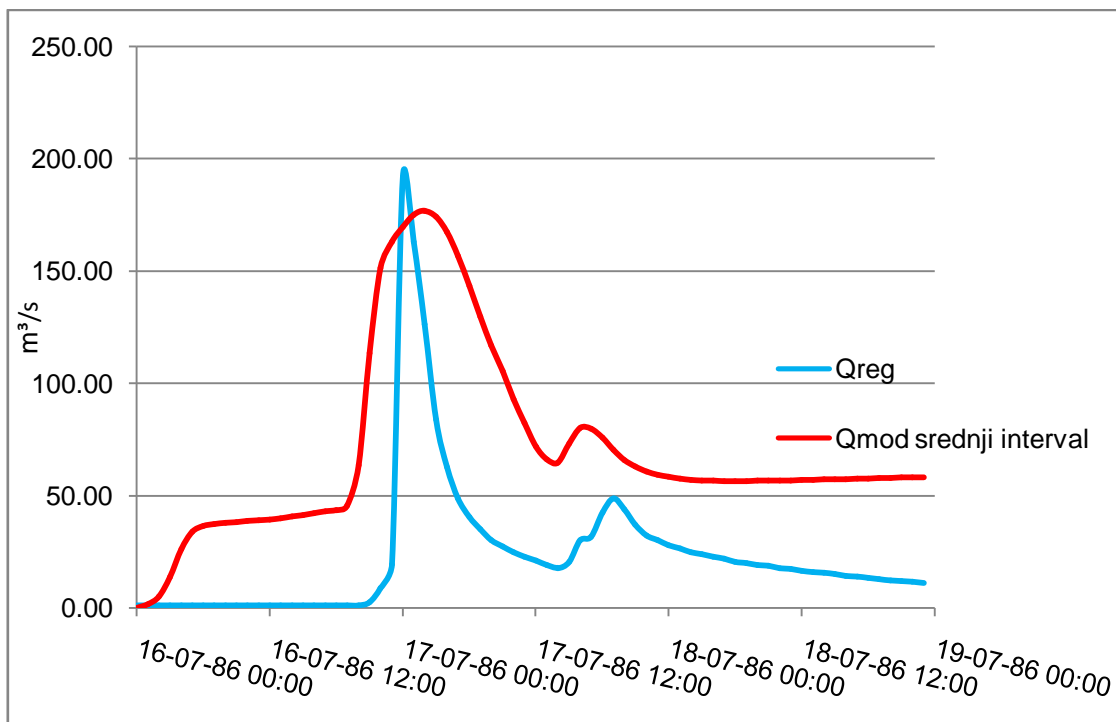
Слика 6.59. Хидрограми регистрованог и моделираног отицаја при варијацији параметра коефицијента хидрауличног кондуктивитета за геолошку основу

### 6.2.10. Калибрација модела отицаја

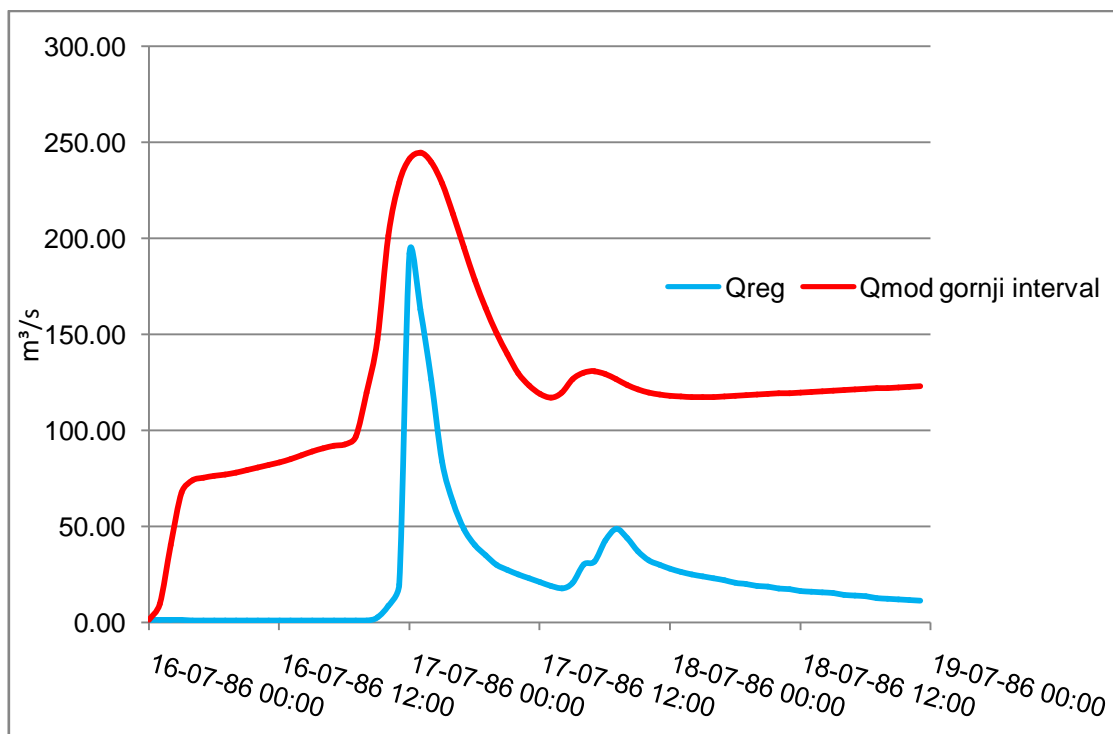
Анализа осетљивости и калибрација модела за слив Топлице изведена је на примеру поплавног таласа који се догодио јула 1986. године, а интервали вредности параметара за калибрацију модела дати су у табели 6.37. Сlike 6.60. - 6.62. представљају осетљивост модела отицаја за Топлицу на доње, средње и горње граничне вредности параметара, односно дају слику о регистрованим и моделираним отицајима при доњим и горњим граничним и средњим вредностима параметара. Код моделираног хидрограма са доњим вредностима параметара наилазимо на, условно речено, највеће поклапање протицаја пре узлазне и после рецесионе гране хидрограма, док можемо рећи да не постоји значајније подударење регистрованих и моделираних (при варијацији вредности параметара) узлазних и рецесионих грана хидрограма у сва три случаја.



Слика 6.60. Хидрограм регистрованог отицаја и моделираног са доњим вредностима параметара у границама дефинисаних интервала



Слика 6.61. Хидрограм регистрованог отицаја и моделираног са средњим вредностима параметара у границама дефинисаних интервала



Слика 6.62. Хидрограм регистрованог отицаја и моделираног са горњим вредностима параметара у границама дефинисаних интервала

Слике 6.43. – 6.46. дају представу о утицају на отицај, односно хидрограм, сваког од наведена четири параметра појединачно на основу којих ће се вршити калибрација модела. На основу хидрограма, може се закључити да највеће варијације моделираних отицаја условљавају варијације коефицијента хидрауличног кондуктивитета за земљишта, потом коефицијент хидрауличног кондуктивитета за геолошку основу, док варијације коефицијента рапавости речног корита и коефицијента рапавости површинског отицаја условљавају варијације хидрограма у знатно мањем опсегу.

Табела 6.39. Калибрисане вредности параметара за модел Топлице

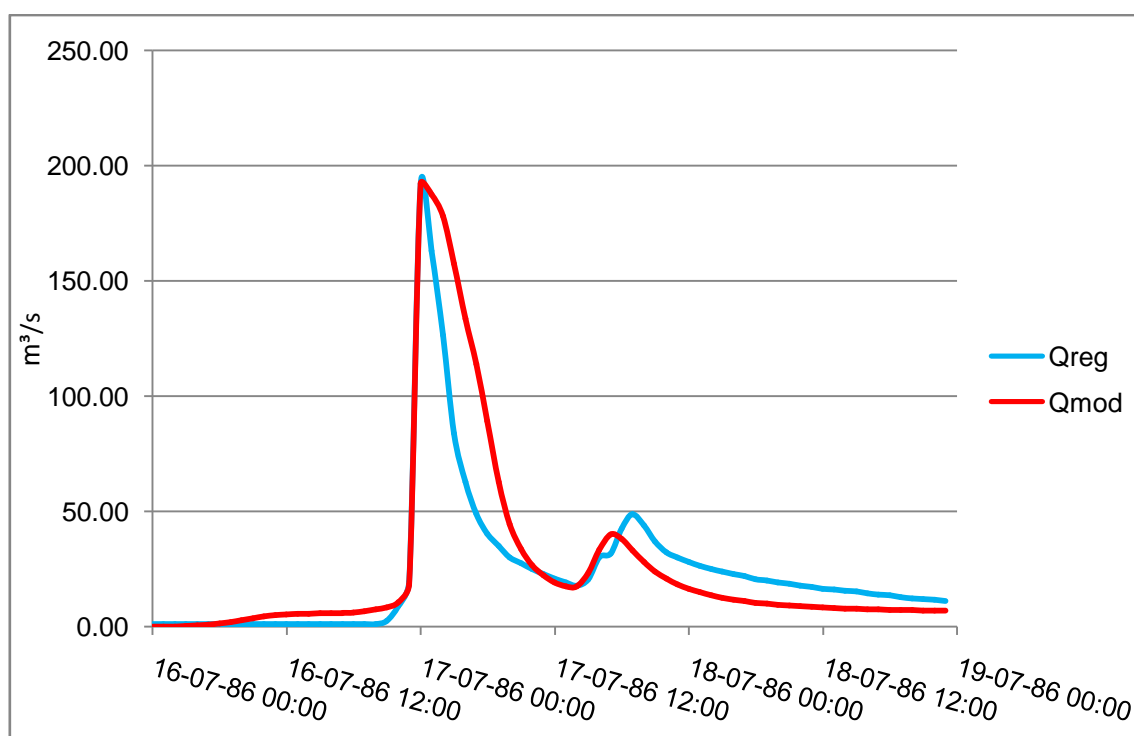
Параметри	Карактеристике	Вредност	Јединица
$K_z$	глиновита иловача	0.051	m/d
	иловача	0.159	
	глинуша	0.0153	
	песк. глиновита иловача	0.099	
	прашката иловача	0.0327	
$K_s$		0.740	m/d
$S_o$	шуме	4	$m^{1/3} s^{-1}$
	прелазна подручја шума	12	
	пољопр. земљиште	9	
	травнате површине	10	
	голети	50	
$S_r$		35	$m^{1/3} s^{-1}$

У циљу калибрације модела за Топлицу такође је изведен читав низ симулација са различитим комбинацијама вредности параметара у границама интервала како би се дошло до најоптималнијег решења, односно оне комбинације вредности параметара којом се добија моделирани хидрограм најсличнији регистрованом. Тако је применом најоптималније комбинације параметара из табеле 6.39. добијен хидрограм моделираног отицаја (Слика 6.63.) који према коефицијенту корелације (Слика 6.64.), као и према визуелној опсервацији, кореспондира регистрованом хидрограму када је реч о подударану вршних ордината (Табела 6.40.) и улазних

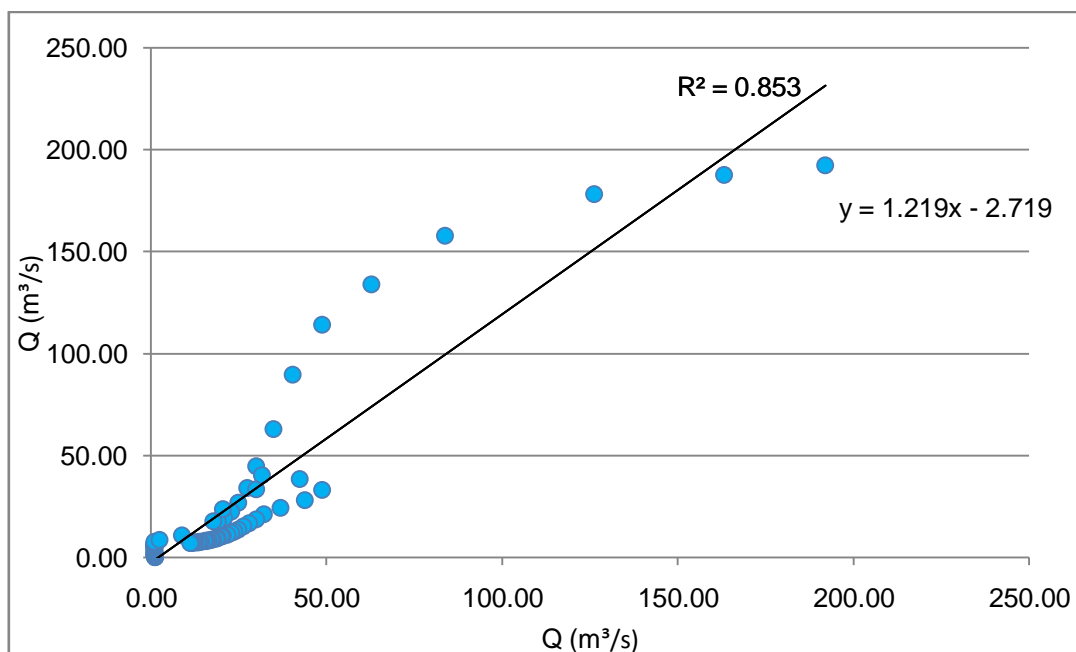
грана хидрограма, док је код рецесионих грана хидрограма подударање вредности протицаја мање задовољавајуће. Уопштено, статистичка анализа (Табела 6.41.) указује на добре резултате, с обзиром на коефицијент корелације од 0.924, коефицијент детерминације од 0.853 и вероватноћу грешке према F – тесту, која је мања од 0.05.

Табела 6.40. Вредности моделираног и регистрованог максималног протицаја

$Q_{\max \text{ reg}} (\text{m}^3 \text{s}^{-1})$	$Q_{\max \text{ mod}} (\text{m}^3 \text{s}^{-1})$
192.00	192.32



Слика 6.63. Регистровани и моделирани хидрограми отицаја према калибрисаним вредностима параметара (Табела 28.)



Слика 6.64. Корелација регистрованог и моделираног отицаја према моделу отицаја за Топлицу

Табела 6.41. Статистичка анализа (поплавни талас из јула 1986.)

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.923578
R Square	0.852996
Adjusted R Square	0.850896
Standard Error	17.03192
Observations	72

<i>ANOVA</i>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	117826.2	117826.2	406.1763	7.38E-31
Residual	70	20306.04	290.0863		
Total	71	138132.2			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Intercept	-2.71937	2.470507	-1.10073	0.274783	-7.64664	2.207898
X Variable 1	1.219862	0.060528	20.15382	7.38E-31	1.099143	1.34058

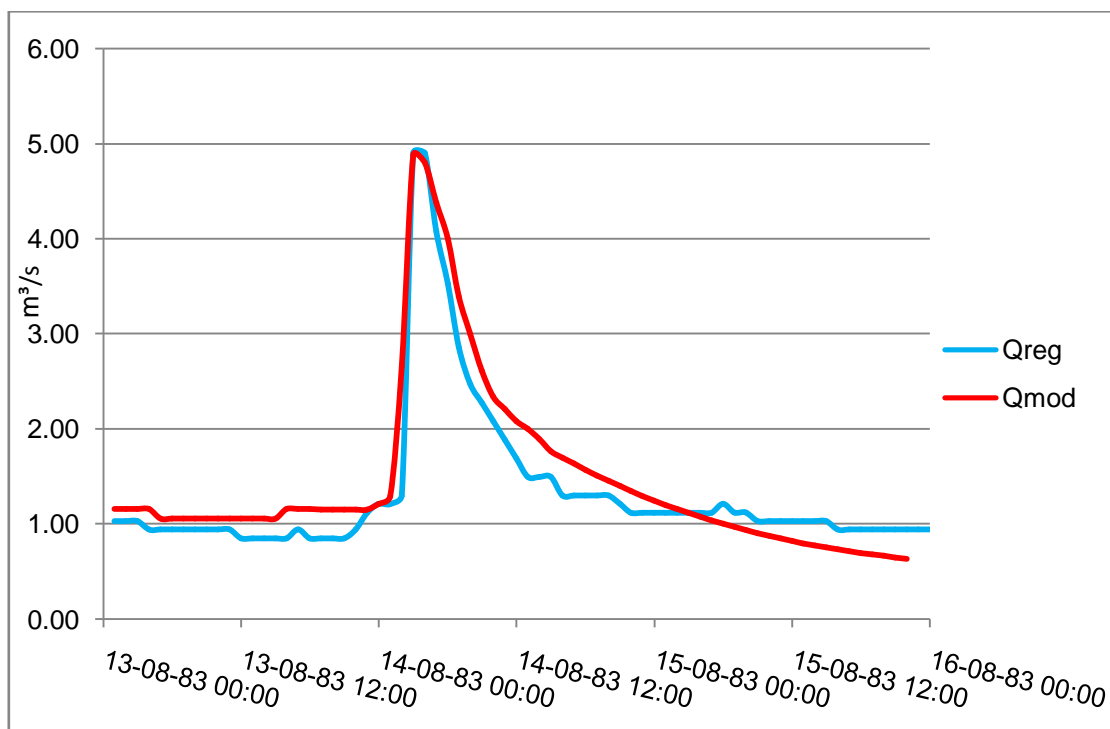


### 6.2.11. Валидација модела отицаја за слив Топлице – профил Магово

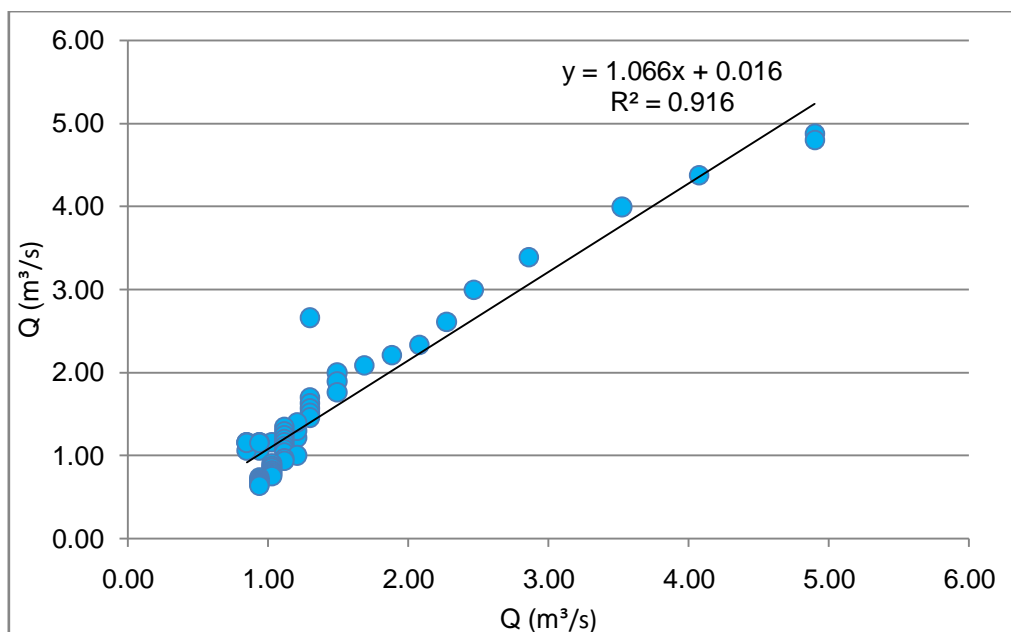
Калибрисани модел слива Топлице према поплавном таласу који се догодио јула 1986. године даје најбоље резултате при симулацији поплавног таласа из 1983. године (Слика 6.65.), где је коефицијент детерминације 0.916 (Слика 6.66.), док хидрограми моделираних и регистрованих отицаја за поплавне таласе из 1986. (Слика 6.67. и 6.68.) и 2010. године (Слика 6.69. и 6.70.) такође дају добре резултате. Статистичке анализе (Табела 6.43. – 6.45.) указују на задовољавајуће резултате, с обзиром и на високе вредности коефицијента корелације и вероватноћу грешке према F – тесту, која је мања од 0.05.

Табела 6.42. Вредности моделираног максималног протицаја Топлице

Поплавни талас	$Q_{\max, \text{reg}} (\text{m}^3 \text{s}^{-1})$	$Q_{\max, \text{mod}} (\text{m}^3 \text{s}^{-1})$
1983.	4.900	4.882
1986.	13.904	13.740
2010.	16.130	16.306



Слика 6.65. Регистровани и моделирани хидрограми отицаја за поплавни талас Топлице, августа 1983., према калибрисаним вредностима параметара



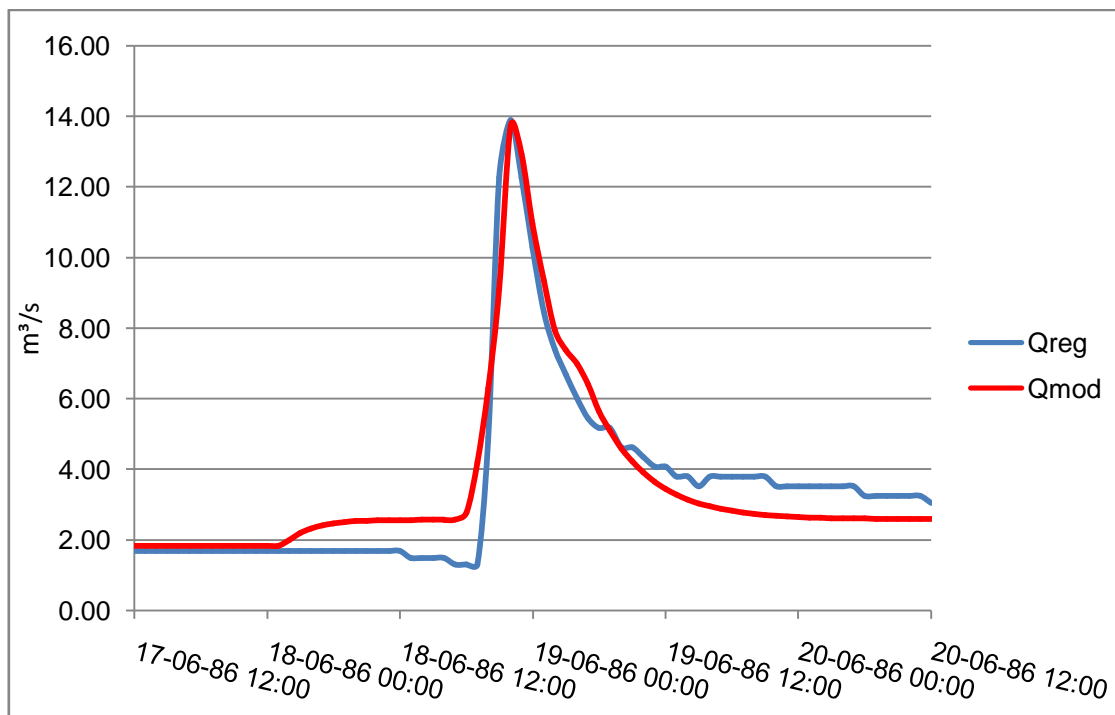
Слика 6.66. Корелација регистрованог и моделираног отицаја за поплавни талас  
Топлице, августа 1983. године

Табела 6.43. Статистичка анализа (поплавни талас из 1983.)

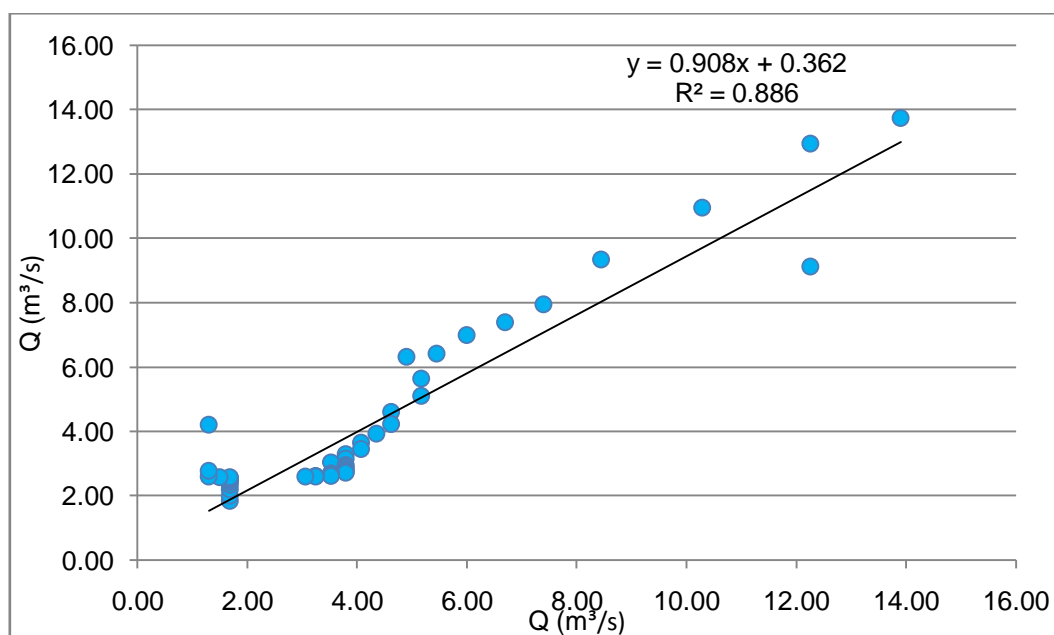
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.95698
R Square	0.91581
Adjusted R Square	0.914607
Standard Error	0.272903
Observations	72

<i>ANOVA</i>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	56.71001	56.71001	761.4538	2.4E-39
Residual	70	5.213317	0.074476		
Total	71	61.92333			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Intercept	0.016643	0.060701	0.27418	0.784754	-0.10442	0.137708
X Variable 1	1.066381	0.038645	27.59445	2.4E-39	0.989307	1.143456



Слика 6.67. Регистровани и моделирани хидрограми отицаја за поплавни талас  
Топлице, јуна 1986., према калибрисаним вредностима параметара (Табела 28.)



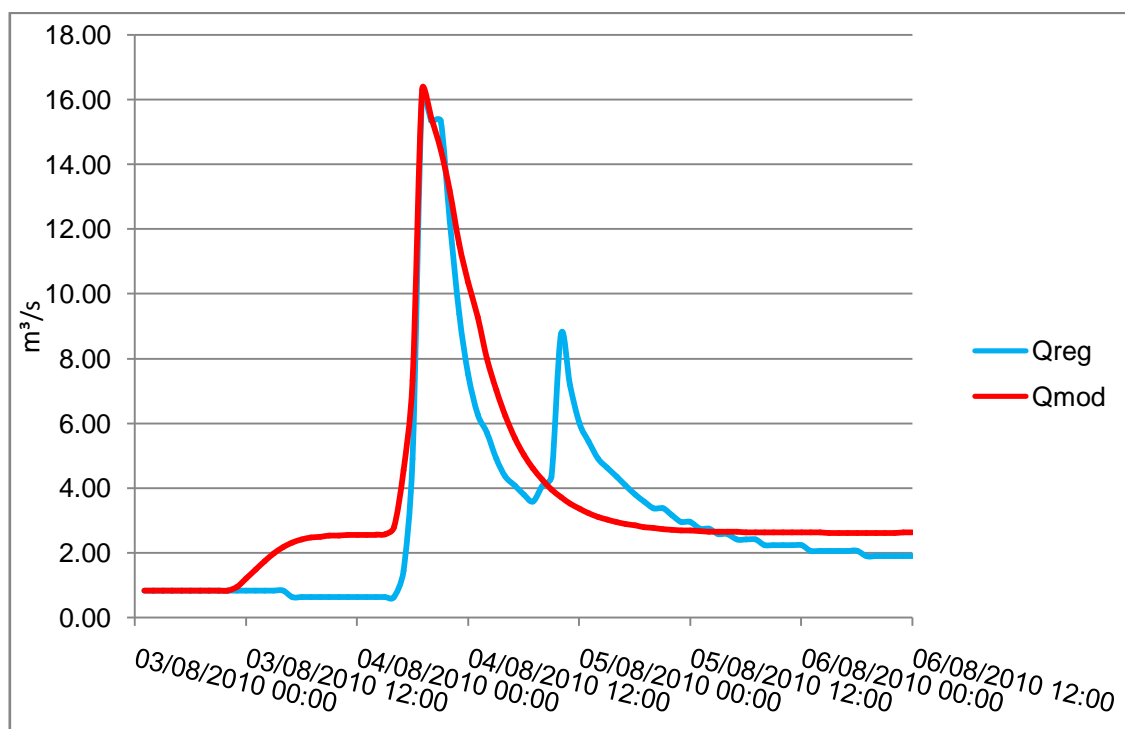
Слика 6.68. Корелација регистрованог и моделираног отицаја за поплавни талас  
Топлице, јуна 1986. године

Табела 6.44. Статистичка анализа (поплавни талас из јуна 1986.)

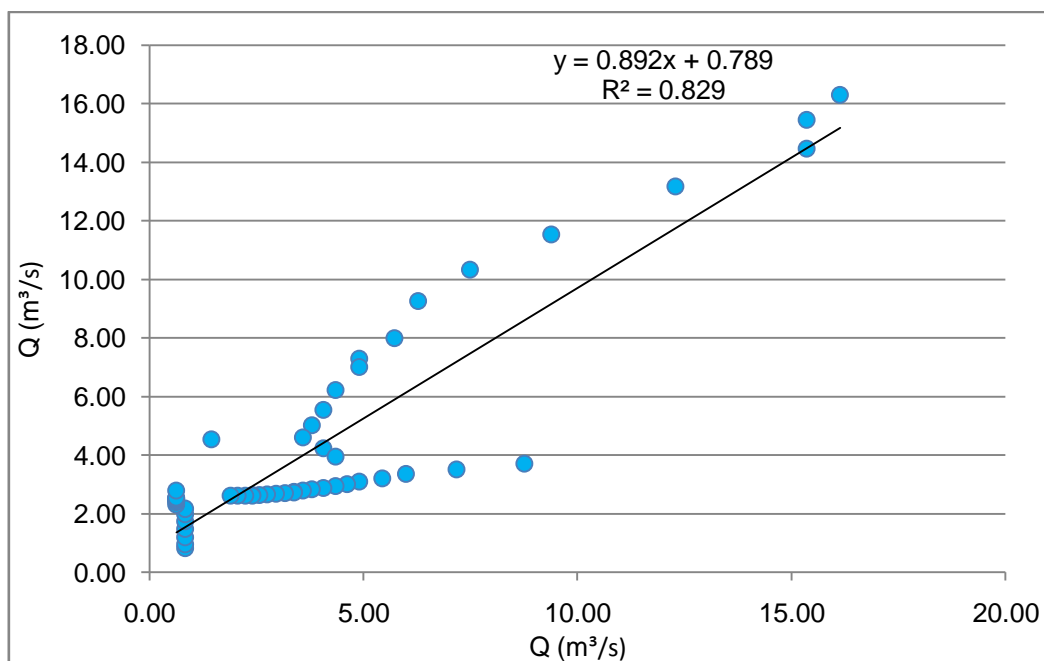
<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.94119
R Square	0.885839
Adjusted R Square	0.884231
Standard Error	0.859703
Observations	73

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	407.1869	407.1869	550.9302	3.48E-35
Residual	71	52.47538	0.73909		
Total	72	459.6623			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Intercept	0.362805	0.169196	2.144287	0.035434	0.025438	0.700172
X Variable 1	0.908538	0.038707	23.4719	3.48E-35	0.831357	0.985718



Слика 6.69. Регистровани и моделирани хидрограми отицаја за поплавни талас Топлице, августа 2010., према калибрисаним вредностима параметара (Табела 28.)



Слика 6.70. Корелација регистрованог и моделираног отицаја за поплазни талас  
Топлице, августа 2010.

Табела 6.45. Статистичка анализа (поплазни талас 2010.)

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.910905
R Square	0.829749
Adjusted R Square	0.827672
Standard Error	1.334129
Observations	84

<i>ANOVA</i>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	711.3199	711.3199	399.6406	2.87E-33
Residual	82	145.9517	1.779899		
Total	83	857.2716			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Intercept	0.789827	0.202937	3.891986	0.000202	0.386121	1.193532
X Variable 1	0.892844	0.044662	19.99101	2.87E-33	0.803997	0.981692

## 7. ДИСКУСИЈА

С обзиром да је до сада на европским картама ризика од непогода и посебно поплава Србија била изостављана (Dragičević et al., 2011), интеграција Инвентара бујичних поплава у Србији у европске базе података о природним хазардима (какве су EMDAT и NATHAN) чини се неопходном. С обзиром на геопросторни карактер података, овај рад представља допринос имплементацији INSPIRE Директиве о инфраструктури просторних података у Европској заједници 2007/2/ЕК, у оквиру које се инсистира и на теми о зонама природних ризика.

Осим тога, Инвентар постаје подстрек за израду јединственог Инвентара природних непогода и катастрофа у Србији (у који би се постојећи Инвентар бујичних поплава у Србији интегрисао), али и Инвентара односно Катастра бујица и Катастра изведених противерозионих радова у сливовима у Србији. Подаци Инвентара су такође од великог значаја за предузимање будућих корака и унапређење мера превенције и ублажавања последица бујичних поплава.

Поред тога што је потребно да се Инвентар континуирано допуњује детаљнијим информацијама, за даљу инвентаризацију догађаја бујичних поплава неопходно је изградити и усвојити добро структуриран и систематичан извештај о догађајима бујичних поплава који по попуњавању треба да постане део Инвентара. Следећи прилог (Табела 7.1.) представља модел извештаја за даљу инвентаризацију догађаја бујичних поплава.

Подаци и резултати овог дела истраживања представљају добру основу и указују на потребу за даљим развојем Инвентара бујичних поплава у Србији у вишенаменску базу података отворену за више типова корисника. Овај корак би представљао модернизацију управљања ризицима од бујичних поплава, која, међутим, захтева и значајну подршку надлежних.

Табела 7.1. Модел извештаја за даљу инвентаризацију догађаја бујичних поплава

Извештај бр.	Датум појаве бујичне поплаве:	
НАЗИВ СЛИВА		Макро слив:
А	km <sup>2</sup>	
Опис природних услова у сливу (геолошких, педолошких, вегетационих, климатских карактеристика, начина коришћења земљишта, хидрографски параметри)		
УРЕЂЕЊЕ БУЈИЧНИХ СЛИВОВА (степен остварене противерозионе заштите)		
Биолошки радови	ha	
Технички радови	m <sup>3</sup>	
Ретенције и акумулације	<input type="checkbox"/> да, _____ m <sup>2</sup> <input type="checkbox"/> не <input type="checkbox"/> за поплавне воде <input type="checkbox"/> за нанос	
Стање изведених радова	<input type="checkbox"/> незадовољавајуће <input type="checkbox"/> задовољавајуће <input type="checkbox"/> добро <input type="checkbox"/> одлично	
Предлог мера	<input type="checkbox"/> нови радови <input type="checkbox"/> одржавање изведених радова <input type="checkbox"/> нема предлога	
О ДОГАЂАЈУ БУЈИЧНЕ ПОПЛАВЕ		
Опис појаве бујичне поплаве		
Висина падавина и трајање	mm/min*	
Површина обухваћена падавинама	<input type="checkbox"/> цео слив <input type="checkbox"/> део слива, који део слива _____, површина тог дела слива _____ km <sup>2</sup> .	
Падавине у последњих 30 дана	хијетограм*	
Падавинска станица	назив:	X/Y координате:
Измерени протицај (Q <sub>max</sub> )	_____ m <sup>3</sup> /s*	

	хидрограм*
Хидролошка станица	назив: _____ X/Y координате: _____
Други значајни фактори који су утицали на појаву бујичне поплаве	(нпр. нагло отапање снега, засићеност тла)
Доминантни процеси у току догађаја	<input type="checkbox"/> бујична поплава <input type="checkbox"/> блатно-камени ток
Доминантни процеси водне ерозије у сливу током формирања поплавног таласа	<input type="checkbox"/> површинска <input type="checkbox"/> браздаста <input type="checkbox"/> јаружаста <input type="checkbox"/> флувијална <input type="checkbox"/> клизишта <input type="checkbox"/> одрони
Пренос наноса	m <sup>3</sup> /s*
Други материјали ношени водом	<input type="checkbox"/> дрвеће, _____ m <sup>3</sup> <input type="checkbox"/> отпад, _____ m <sup>3</sup> друго: _____.
Затрпаност стаблима (пливајући нанос), смећем, ерозионим наносом	<input type="checkbox"/> да, _____ m <sup>3</sup> <input type="checkbox"/> не
<b>ШТЕТЕ</b>	
Опсег утицаја поплавних вода	<b>ИНТЕНЗИТЕТ ДОГАЂАЈА</b>
<input type="checkbox"/> >500 ha/>100 стамб. једин. ▶ <input type="checkbox"/> 100-500 ha/50-100 с. ј. ▶ <input type="checkbox"/> 50-100 ha/20-50 с. ј. ▶ <input type="checkbox"/> 20-50 ha/5-20 с. ј. ▶ <input type="checkbox"/> <20 ha/1-5 с. ј. ▶	<input type="checkbox"/> I (ексцесивни) <input type="checkbox"/> II (веома јак) <input type="checkbox"/> III (јак) <input type="checkbox"/> IV (средњи) <input type="checkbox"/> V (слаб)
Процена штете	€
Опис штета	
Број људских жртава	
Број повређених	
Утицај на животиње (опис)	
Штете нанете екосистему и животној средини (опис)	



Трошкови санације штета	€
Упозорење и најава бујичне поплаве	<input type="checkbox"/> да <input type="checkbox"/> не
Пропратна документација	<input type="checkbox"/> Фотографије <input type="checkbox"/> Графикони <input type="checkbox"/> Карте <input type="checkbox"/> Новински чланци <input type="checkbox"/> Детаљнији предлог мера
Аутор извештаја:	Радно место и контакт:
Организација:	

\*податке обезбедити у сарадњи са РХМЗС-е

Из анализа екстремних појава бујичних поплава таласа које су саставни део Инвентара узети су доступни подаци и испитивана је зависност специфичног максималног протицаја и максималног протицаја од површине слива, висине падавина, уравнатог пада речног корита, средњег пада слива, процента пошумљености, коефицијента ерозије земљишта. Нађене су значајније зависности између зависних и независних варијабли простом и вишеструком регресионом анализом. Високе вредности коефицијента детерминације указују на веома значајну зависност специфичног максималног протицаја од наведених параметара. Треба напоменути да су приказане анализе изведене за издвојене екстремне бујичне поплаве на основу доступних података из Инвентара бујичних поплава и да је број чланова у низу релативно мали.

Међутим, приказане анализе указују на значајне трендове у погледу утврђивања зависности величина максималног протицаја  $Q_{\max}$  и специфичног максималног протицаја  $q_{\max sr}$  у односу на висину кишних падавина  $H$ , физичкогеографске параметре  $A$ ,  $I_u$ ,  $I_{sr}$ ,  $Z$  и пошумљеност слива. У смислу даљих анализа, потребно је употпуњавати представљени Инвентар бујичних поплава са подацима о максималним протицајима и кишним падавинама које су изазвале те максималне протицаје. Са друге стране, велики недостатак података о параметрима бујичних сливова указује на потребу израде Катастра бујичних токова и у овом тренутку онемогућава увођење већег броја сливова у статистичке анализе.

Дакле, појава и карактер бујичних поплавних таласа су резултат топографских фактора, фактора начина коришћења земљишта, фактора педолошких и геолошких карактеристика слива, фактора особина хидрографског система уз важан услов појаве екстремних кишних епизода. Фактори појаве поплавних таласа у експерименталним сливовима Топлице и Топчидерске реке, објашњени су у разрађеним моделима кроз карактеристике падавина, топографске карактеристике слива, специфичне показатеље особина земљишта и геолошке основе, као и показатеље карактеристика хидрографског система и вегетације, односно начина коришћења терена на коме се отицај формира. Утицај најзначајнијих услова појаве бујичних поплава у сливу приказан је употребом параметара хидрауличног кондуктивитета земљишта ( $K_z$ ), хидрауличног кондуктивитета за стене ( $K_s$ ), коефицијента рапавости за површински отицај ( $S_o$ ) преко различитих начина коришћења земљишта и коефицијента рапавости за речна корита ( $S_r$ ). Анализа утицаја ових параметара на величину отицаја дата је у анализи осетљивости модела. Међутим, недостатак овог модела огледа се у немогућности да се квантификују утицаји сваког фактора појединачно на величину отицаја.

У хидролошким прорачунима, слив је посматран као хидролошки систем са свим својим физичко-географским специфичностима и јединственом комбинацијом фактора појаве поплавних таласа, а узете су у обзир све компоненте процеса отицаја у сливу - интерцепција и евапотранспирација, површински отицај и отицај кроз хидрографску мрежу, отицај у засићеној средини и отицај у незасићеној средини.

Програмски пакет за хидролошко моделирање SHETRAN се, у погледу тражених података, може се оценити као средње захтеван, што је утицало на елиминацију неких сливова. Детаљност модела је последица тежње творца овог софтвера кроз његов развој, да се у моделу слив са свим својим карактеристикама прикаже што реалније. Такође, многи подаци о траженим параметрима морају се узети из литературе. Ови подаци су дати на основу тестирања и експерименталних истраживања у одређеним интервалима, од минималних преко средњих до

максималних вредности, што даје могућност варирања вредности. Постојећи опсеги вредности параметара из литературе у калибрацији модела омогућавају делимично насумично варирање тих вредности, што нас наводи на помисао да је и коначно решење, односно комбинација вредности калибрисаних параметара у одређеној мери случајна (Beven, 2001). Са друге стране, неке емпиријске методе које се користе у неизученим бујичним сливовима такође имају дозу насумичног одабира вредности параметара, када је рецимо, потребно одредити вредност Манинговог коефицијента површинске рапавости која варира у опсегу од 0.30-0.70 за планинске токове или вредност Манинговог коефицијента површинске рапавости која варира од 0.20-0.40 за пожњевене обрадиве површине или оценити хидролошке услове земљишта као слабе, средње или добре. Такође у случају неизучених бујичних сливова, услед непостојања мерних података није могуће упоредити прорачунате вредности протицаја са реалним протицајима и хидрограмима.

Оцена ваљаности модела у овом раду дата је на основу статистичких анализа. Визуелном опсервацијом је могуће утврдити подударане грана пораста, максималне ординате и опадајућих грана хидрограма поплавних таласа, а коефицијент детерминације ( $R^2$ ) и коефицијент корелације ( $R$ ) су значајни статистички показатељи ваљаности модела. Као што се може приметити на основу хидрограма и графикана коефицијента детерминације вредности моделираних и регистрованих протицаја одабраних поплавних таласа, постигнути су добри резултати с обзиром да се коефицијент детерминације креће у распону од 0.798 до 0.966. Такође су високе вредности коефицијента корелације, а вероватноћа грешке ( $p$ ) према  $F$  – тесту мања је од 0.05. Дакле, није постигнуто апсолутно подударане моделираних часовних вредности са регистрованим, али се ови резултати и постављени модели у хидрологији бујичних токова могу сматрати веома значајним.

Модел који је калибрисан према једном догађају карактеристичног протицаја и верификован према неколико других карактеристичних хидрограма, може послужити за прогнозу и предвиђање протицаја при познатим, прогнозираним

временским условима. Тада је могуће моделирати хидролошки одговор слива при падавинама различите вероватноће појаве од 1%, 3%, 5%, 10%, 25%, 50% и 100%. Уколико се прогнозира невреме у виду изузетно јаких пљускова, помоћу модела и симулација могуће је дати упозорење, у чему се и огледа значај хидролошког моделирања у пракси управљања ризицима од поплава у бујичним сливовима. Планови управљања сливом у развијеним регионима обавезно подразумевају компоненту поузданог хидролошког и хидрауличног моделирања (DeBarry, 2004). Стога је неопходно развити хидролошке моделе за најугроженије сливове од бујичних поплава у Србији у циљу благовремених најава и упозорења, односно смањења материјалних штета и људских губитака.

Међутим, потребно је дискутовати и о факторима који утичу на квалитет и ваљаност хидролошких модела отицаја који су разрађени у овом раду. Најпре, квалитет улазних података је пресудан за квалитет резултата добијених моделом (Bewen, 2001; De Barry, 2004).

С обзиром на то да не постоји континуитет у мерењу часовних вредности протицаја и падавина, услед прекида рада станица, непоклапања рада хидролошких и кишомерних станица, избор репрезентативних хидрограма и меродавних киша био је веома ограничен и отежан, нарочито у случају слива Топлице.

У овом раду било је покушаја да се изведу континуалне симулације од чега се, након анализе података о протицају и кишним падавинама, морало одустати услед неконзистентности података. Тако на пример, из серије података о протицају могли су се издвојити неки репрезентативни хидрограми поплавних таласа у летњем периоду године, али података за кишне падавине које су их изазвале није било. Или су у датом периоду мерене падавине али падавине нису регистроване јер су падавине биле излучене из облака типа кумулонимбуса који падавинама захватају малу површину. За прецизнију представу о меродавним падавинама које су условиле појаву поплавног таласа потребна је знатно гушћа мрежа кишомерних станица. Још адекватније решење представља коришћење података

са кишомерних станица у комбинацији са подацима са радарских и сателитских снимака датих метеоролошких прилика.

Осим тога, за прецизније анализе неопходно је имати податке о протицају и падавинама детаљније временске резолуције од часовних, тј. тридесетоминутне, двадесетоминутне, десетоминутне или петоминутне податке како би и подаци о интензитету падавина били тачнији.

## 8. ЗАКЉУЧЦИ

- Специфичне и варијабилне карактеристике климе и рељефа, геолошког, педолошког и вегетационог покривача, начина коришћења земљишта, представљају широк спектар услова и фактора појаве бујичних поплава у Србији. Појава бујичних поплава је условљена пре свега интензивним „бујичним кишама“ које изазивају брзу реакцију на сливовима релативно мале површине, великог нагиба терена и јаког интензитета ерозије земљишта. Њихова појава је нагла, трајање кратко, а дејство разорно и деструктивно, тако да се бујичне поплаве сврставају у природне хидролошке непогоде.
- У оквиру ове докторске дисертације креиран је Инвентар бујичних поплава у Србији у коме је регистровано 848 догађаја бујичних поплава у периоду 1915.-2013. године. Највећи број регистрованих бујичних поплава забележен је у сливу Јужне Мораве (195), а потом у сливовима Западне Мораве (157) и Велике Мораве (127).
- Месечна дистрибуција регистрованих бујичних поплава указује да се највећи број бујичних поплава дешава у јуну, чак 233 забележених бујичних поплава што чини 27.5% од укупног броја, и мају са 178 догађаја, односно 21%. Потом следе јул (88, односно 10.4%), март (71, односно 8.4%) и фебруар (67, односно 7.9%). Примарни максимум појаве бујичних поплава у летњој половини године, мају и јуну може се објаснити плувиометријским режимом у брдско-планинским деловима Србије који се одликује најинтензивнијим и најобилнијим падавинама у месецима мај и јун. Јаке бујичне поплаве догађале су се и у јулу и августу, и то излучивањем велике количине кишних падавина након дугих сушних периода. У условима дугих суша структура земљишта је поремећена па је оно веома подложно ерозији, а снагом максималних протицаја транспортује се велика количина наноса са учешћем вученог наноса и до 60%. Примери су поплава Калиманске реке, 04.08.1929. године; Љештарске долине, 25.07.1982. године; Сејаничке реке, 02.07.1983. године;

Топчидерске реке 10.07.1999. године. Секундарни максимум јавља се у зимским месецима, марту и фебруару.

- Годишњом дистрибуцијом догађаја бујичних поплава у истраживаном периоду од 99 година издвојене су године са највећим бројем регистрованих бујичних поплава – 1969. (54), 1999. (51), 2005. (47), 1956. (47) и 1986. (43). Тренд линија годишње дистрибуције забележених догађаја бујичних поплава у посматраном периоду јасно указује на значајан пораст броја догађаја бујичних поплава, тј. њихову учесталију појаву у последњим деценијама. Просек броја догађаја бујичних поплава у једној години за период 1961.-1990. је удвостручен у односу на претходни период 1931.-1960., односно тај просек је повећан са 5.83 на 12.80 (док тај просек од почетне године Инвентара 1915. до 1930. године износи 2.06). Просечан број догађаја бујичних поплава у последњем периоду 1991.-2013. такође је увећан у односу на претходни период и износи 19.69.
- У смислу губитака људских живота могу се издвојити „трагичне године“ - 1939. (28 жртава), 1915. (>21), 1975. (12), 1999. (18) и 1956. (10) као и „трагични месеци“ - мај (45 жртава), јун (28), јул (21). Екстремни догађаји бујичних поплава у смислу људских жртава десили су се на Коритничкој реци - октобра 1939. (17 жртава), Корбевачкој реци - маја 1975. (12), Селској реци - јуна 1939. (11), Брестовачкој реци - маја 1915. (11), Сиколској реци - маја 1915. (>10), Топчидерској реци - јула 1999. године (10) (документациона основа Инвентара).
- На основу анализе и прегледа доступних података о материјалним штетама, односно опсегу штетног утицаја бујичних поплава, дефинисани су критеријуми за категоризацију догађаја бујичних поплава према материјалним штетама. Тако је на основу дефинисаних прагова, издвојено пет нивоа интензитета, од релативно слабог до екцесивног интензитета догађаја бујичних поплава.

- За даље прикупљање података о догађајима бујичних поплава у раду је дат модел извештаја о појави бујичних поплава који по попуњавању треба да постане део Инвентара. Израђени Инвентар бујичних поплава представља подстрек да се израде јединствени Инвентар природних непогода и катастрофа у Србији као и Катастар бујица и Катастар изведених противерозионих радова у бујичним сливовима Србије.
- Из анализа екстремних догађаја бујичних поплава таласа које су саставни део Инвентара узети су доступни подаци и испитивана је зависност специфичног максималног протицаја и максималног протицаја од површине слива, висине падавина, уравнатог пада речног корита, средњег пада слива, процента пошумљености, коефицијента ерозије земљишта. Нађене су значајније зависности између зависних и независних варијабли простом и вишеструком регресионом анализом. Релативно високе вредности коефицијента детерминације вишеструке регресионе анализе (у распону од 0.66 до 0.99) указују на веома значајну зависност специфичног максималног протицаја од наведених параметара. Простом регресионом анализом добијени су високи коефицијент детерминације у случају зависности максималног протицаја од површине слива (0.885), а нешто нижи у случају зависности специфичног максималног протицаја од уравнатог пада речног корита (0.510) и зависности максималног протицаја од средњег пада слива (0.456).
- За репрезентативне сливове извршена је детаљна анализа фактора појаве бујичних поплава и разрађени су физички базирани, просторно дистрибутивни хидролошки модели протицаја, употребом програмског пакета SHETRAN. У моделима се рачунају процеси инфилтрације, евапотранспирације, површинског и базног протицаја и протицаја кроз хидрографску мрежу, путем физички базираних једначина, усвојених у SHETRAN-у. Анализирани су, и у модел протицаја укључени, директни фактори појаве бујичних поплава, односно екстремне кишне падавине, и индиректни фактори, односно сви природни физичкогеографски фактори кроз топографске, геолошке, педолошке и



вегетационе карактеристике слива, и антропогени фактори који се највише манифестују кроз начин коришћења земљишта у сливу.

- Простор слива је представљен гридним ћелијама па је за потребе хидролошког модела на самом почетку формиран растерски модел података, односно континуалних поља. Употреба софтвера SHETRAN омогућава да се процес генезе отицаја у сваком гридном елементу слива реално одражава на процес генезе отицаја у целом сливу. За слив Топчидерске реке до профила Раковица разрађен је хидролошки модел отицаја на основу калибрације модела на примеру поплавног таласа 1999. године и верификације на примеру три поплавна таласа из 1994., 1996. и 1999. године. За слив Топлице до профила Магово разрађен је хидролошки модел отицаја на основу калибрације модела на основу поплавног таласа из 1986. године и верификације на основу три поплавна таласа из 1983., 1986. и 2010. године. Калибрацијом параметара који имају велики утицај на величину отицаја – Дарсијев коефицијент филтрације за земљишта, Дарсијев коефицијент за стене, Стриклеров коефицијент површинског отицаја и Стриклеров коефицијент за водотоке, добијене су моделиране часовне вредности протицаја које, према регресионим анализама, значајно кореспондирају регистрованим часовним вредностима протицаја.
- Инвентар догађаја бујичних поплава у Србији и хидролошки модели за слив Топлице (профил Магово) и слив Топчидерске реке (профил Раковица) представљају, у складу са захтевима ЕУ Директиве о поплавама и савременим трендовима истраживања, значајан допринос управљању ризицима од бујичних поплава у Србији. Такође, овај рад са својим подацима и резултатима представља добру основу и указује на потребу за даљим развојем Инвентара бујичних поплава у Србији у вишенаменску базу података отворену за више типова корисника, и хидролошких модела за друге сливове, нарочито за оне у којима постоји висок ризик од бујичних поплава.

## 9. ЛИТЕРАТУРА

1. Abbot P. L. (2008): Natural Disasters. McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 6th edition.
2. Авакумовић В. (2000): Анализа кретања воде на површини и у земљишту. Грађевински факултет Универзитета у Београду.
3. Antić M., Jović N., Avdalović V. (2007): Pedologija. Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet.
4. Barredo J. I. (2007): Major Flood Disasters in Europe: 1950–2005. Natural Hazards. 42 (1), 125-148.
5. Barredo J. I. (2009): Normalised flood losses in Europe: 1970–2006. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 9, 97–104.
6. Bathurst J. C. (2002): Physically-based erosion and sediment yield modelling: the SHETRAN concept. In Modelling erosion sediment transport and sediment yield. Vol. 60.; UNESCO: Paris, pp 47–67.
7. Beven K. (2001): Rainfall - Runoff Modelling, The Primer, John Wiley & Sons.
8. Birkinshaw S. J., Bathurst J. C., Iroume A., Palacios H. (2010): The effect of forest cover on peak flow and sediment discharge - an integrated field and modelling study in central-southern Chile. Hydrol. Process. Published online in Wiley Online Library.
9. Birkinshaw S. J., James P., Ewen J. (2010): Graphical user interface for rapid set-up of SHETRAN physically-based river catchment model. Environmental Modelling & Software. 25 (4), 609–610.
10. Blöschl G., Reszler C., Komma J. A (2008): Spatially distributed flash flood forecasting model. Environmental Modelling & Software, 23, 464-478.
11. Breuer L., Eckhardt K., Frede H.-G. (2003): Plant parameter values for models in temperate climates. Ecological Modelling, 169, 273-293.
12. Bovolo C. I., Abele S. J., Bathurst J. C., Caballero D., Ciglan M., Eftichidis G., Simo B. (2009): A distributed framework for multi-risk assessment of natural hazards used to model the effects of forest fire on hydrology and sediment yield. Computers & Geosciences, 35, 924–945.

13. Borga, M., Boscolo, P., Zanon, F., Sangati, M., (2007): Hydrometeorological analysis of the August 29, 2003 flash flood in the eastern Italian Alps. *Journal of Hydrometeorology* 8 (5), 1049–1067.
14. Borga, M. Flash floods (2010): Observations and analysis of hydro-meteorological controls. Preface. *Journal of Hydrology* 394, 1–3.
15. Borga, M., Anagnostou E.N., Blöschl G., Creutin J.-D. (2011): Flash flood forecasting, warning and risk management: the HYDRATE project. *Environ. Sci. Policy*.
16. Borisavljević A. (2011): The Danube in Serbia - ecological status and management issues. *Transylvanian Review of Systematical and Ecological Research*, 12, 91-101.
17. Борисављевић А. & Костадинов С. (2012): Интегрисано управљање речним сливом Јужне Мораве. *Гласник Српског географског друштва*, 92(1), 135–160.
18. Burrough P. A. & McDonnell R. A. (2006): Principi geografskih informacionih sistema. *Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu*.
19. Водопривредна основа Србије (2001): Министарство за пољопривреду, шумарства и водопривреде, Република Србија, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд.
20. Vujović R. (2009): Upravljanje rizicima i osiguranje, *Univerzitet Singidunum, Beograd*.
21. Gavrilović, S. (1972): Inženjering o bujičnim poplavama i eroziji. *Republički fond za vode SR, Vodoprivredna organizacija “Beograd”, Institut za eroziju, melioracije i vodoprivredu bujičnih tokova*.
22. Gavrilović, S. (1975): Bujični tokovi u SR Srbiji. *Republički fond voda i Institut za vodoprivredu erozionih područja Šumarskog fakulteta*.
23. Гавриловић, Љ. (1981): Поплаве у Србији у XX веку. *Српско Географско друштво*.
24. Garambois P. A., Larnier K., Roux H., Labat D., Dartus D. (2014): Analysis of flash flood-triggering rainfall for a process-oriented hydrological model. *Atmospheric Research*. 137, 14-24.
25. Gavrilović L., Milanović Pešić A., & Urošev M. (2012): A hydrological analysis of the greatest floods in Serbia in the 1960 – 2010 period. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 7(4), 107-116.

26. Gaume, E., Bain, V., Bernardara, P., Newinger, O., Barbuc, M., Bateman, A., Blaskoviceva, L., et al. (2009): A compilation of data on European flash floods. *Journal of Hydrology*, 367(1-2), 70-78.
27. Gigović, Lj. (2010): Digitalni modeli visina i njihova primena u vojnoj analizi terena. *Vojnotehnički glasnik*, 2/10, str. 165–178.
28. Gourley J. J., Erlingis J. M., Smith T. M., Ortega K. L., Hong Y. (2010): Remote collection and analysis of witness reports on flash floods. *Journal of Hydrology*, 394 (1–2), 53.
29. De Barry P. A. (2004): *Watersheds Processes, Assessment and Management*. John Wiley&Sons.
30. De Vries A. (2010): European territories confronted with climate change: Awaiting the events or timely preparation?. *Futures*, 42, 825–832.
31. Драгићевић, С. (2002). Биланс наноса у сливу Колубаре. Београд: Географски факултет.
32. Dragičević S., Živković N., Ducić V. (2007): Factors of flooding on the territory of the municipality of Obrenovac. *Zbornik radova*, sv. LV, pp. 39-54.
33. Драгићевић С., Љешевић М., Костадинов С., Игњатовић Љ., Миловановић С., Милановић М, Прица М., Новковић И., Јовановић Б. (2008): Студија - Анализа рецентног стања и степена загађења Топчидерске реке на територији општине Савски венац. Географски факултет, Универзитет у Београду.
34. Dragicević S., Filipović D., Kostadinov S., Ristić R., Novković I., Živković N., Djurdjić S. (2011): Natural hazard assessment for land-use planning in Serbia. *Int. J. Environ. Res.*, 5 (2), 371.
35. Dragičević S., Ristić R., Živković N., Kostadinov S., Tošić R., Novković I., Borisavljević A., Radić Z. (2013): Floods in Serbia in 2010 – Case Study: The Kolubara and Pčinja River Basins. In the book: *Geomorphological impacts of extreme weather: Case studies from central and eastern Europe*, D. Loczy (ed.), Springer Geography, pp. 155-170.
36. Драговић Н. (2008): Студија интегралног уређења слива Топчидерске реке у функцији одрживог управљања природним ресурсима. Шумарски факултет, Грађевински факултет, Београд.

37. Dunn, S.M. & Mackay, R. (1995): Spatial variation in evapotranspiration and the influence of land use on catchment hydrology. *Journal of Hydrology*, 171(1-2), 49-73.
38. Ђоровић М. (2001): Основе физике земљишта. Унија биолошких научних друштава Југославије.
39. Ђukić V. (2006): Modelling of base flow of the basin of Kolubara river in Serbia. *Journal of Hydrology*, 327, 1– 12.
40. Ђukić V., Petković S. (2009): Mogućnosti modeliranja erozionih i transportnih procesa u rečnim slivovima. *Vodoprivreda*, 40, 117-125.
41. Ђukić V. (2010): Hidrauličko-hidrološki model geneze i transporta nanosa u slivu. Doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet.
42. Ђукић В. (2012a): Критичка анализа савремених модела ерозије и транспорта наноса са посебним освртом на примену у бујичним сливовима. *Ерозија*, 38, 85-101.
43. Ђukić, V. (2012b): Analysis of Groundwater Recharge of the Basin of Kolubara River in Serbia, International conference on land conservation- LANDCON 1209, September 17-21, Danube region, Serbia.
44. Ђukić V., Mihailović V. (2012c): Modelling of base flows by analysing the streamflow hydrograph. *Bulletin of the Faculty of Forestry*, 106: 71-86.
45. Ђukić V., Mihailović V. (2012d): Critical analysis of the contemporary methods for estimating reference evapotranspiration. *Bulletin of the Faculty of Forestry*, 106: 57-70.
46. European Parliament & Council. (2007a). Directive 2007/60/EC on the assessment and management of flood risks. Official Journal of the European Union.
47. European Parliament & Council. (2007b). Directive 2007/2/EC establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE). Official Journal of the European Union.
48. Ewen, J., Parkin, G. and O'Connell, P.E. (2000) SHETRAN: Distributed river basin flow and transport modeling system. *Journal of hydrologic engineering*, 5, 250-258.
49. Живковић, Н. (1992): Утицај геолошког састава на густину речне мреже у сливу Тимока. *Гласник Српског географског друштва*, 72 (1), 33-44.

50. Живковић, Н. (1995): Утицај физичко-географских фактора на висину отицаја у Србији. Географски факултет Универзитета у Београду.
51. Живковић, Н. и Драгићевић, С. (2003). Режим падавина у региону Београд. Међународни научни скуп „Београд и његов регион“, Београд.
52. Zielonka T., Holeksa J, Ciapala S. (2008): A reconstruction of flood events using scarred trees in the Tatra Mountains, Poland. *Dendrochronologia*, 26, 173–183.
53. Zlatić M. (1986): *Ekonomika poljoprivrednih gazdinstava u kontekstu erozionih procesa na području Grdeličke klisure i Vranjske kotline*. *Erozija*, 14, 153-158.
54. Zlatić M., Ranković N., Vučković M. (2000): Case study: Ecological and economic efficiency of forest reclamation of coal-spoil banks in the Kolubara Basin, Serbia. *Land Reconstruction and Management*, 1, 369-377.
55. Zlatić M., Dragović N., Todosijević M., Tomićević J. (2008): Stakeholder participation in soil management for sustainability in mountainous regions of Serbia. *Advances in Geocology*, Catena Verlag, 39, 149-159.
56. Zlatić M., Lakicevic M., Tomicevic J. (2012): Influence of human activities and demographic trends on the environment of Grdelicka gorge (south Serbia). *Proceedings of the International Balwois Conference, Ohrid*.
57. Институт за водопривреду „Јарослав Черни“ (1996): *Водопривредна основа Републике Србије*, Београд.
58. Knight D. W. (2006): *River Basin Modelling for Flood Risk Mitigation*. Taylor & Francais Group, London.
59. Kostadinov S. (1988): Hidrološke karakteristike jednog bujičnog poplavnog talasa. *Glasnik Šumarskog fakulteta*, 70, 37-49.
60. Kostadinov, S. (1989) Hidrološka analiza jedne bujične poplave u izvorišnom delu sliva Vlasine. *Zbornik radova JUSOP '89* pp. 363-371. Jugoslovensko društvo za hidrologju, Jugoslovenski komitet za međunarodni hidrološki program, Kopaonik.
61. Kostadinov S., Popović M., Zlatić M., Marković S. (1992a): Factors of erosion processes and effects of erosion control works in the torrential watershed of Sejanička reka. In *Proceedings of the Symposium on Environmental regeneration in headwaters*, 231-236 (Eds.: Krecek J., Haigh M.).

62. Kostadinov S., Popović M., Marković S. (1992b): Analysis of the conditions of flood formation in the torrent Ravna reka in June 1988. INTERPRAEVENT 1992, Proceedings, pg. 241-252, Bern.
63. Kostadinov S., Marković S. (1996): Soil erosion and effects of erosion control works in the torrential drainage basins of southeast Serbia. In Proceedings of the Exeter Symposium (IAHS publ. no. 236): Erosion and sediment yield – global and regional perspectives.
64. Костадинов С., Прохаска С., Обратов-Петковић Д., Златић М., Драговић Н. (2001): Студија водопривредне проблематике брдско-планинских подручја у Србији, Шумарски факултет, Универзитет у Београду.
65. Kostadinov S. (2008): Bujični tokovi i erozija. Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet. Str. 1-505.
66. Kostadinov S., Borisavljević A., & Mlađan D. (2012a): Torrents and Torrential Floods in Serbia: Characteristics and Possibilities of its Control; In Conference abstracts. Presented at the International Conference on Land Conservation: Sustainable Land Management and Climate Changes, Donji Milanovac: University of Belgrade, Faculty of Forestry.
67. Костадинов С., Борисављевић А. (2012b): Заштита од ерозије и конзервација земљишта и вода у свету, Ерозија, 38 (4), 1- 25.
68. Kostadinov S., Petrović A. (2013a): Forests in Serbia as the Factor of Global Climate Changes Mitigation, Proceeding of the International Conference on Climate and Global Change Impacts on Water Resources, pp. 81-86. WSDAC, UNESCO, Institute “Jaroslav Černi”: Belgrade. ISBN 978–86–82565–41–3.
69. Kostadinov, S., Ristić, R. (2013b): Erosion and Torrent Control Works in Serbia, Journal of Torrent, Avalanche, Landslide and Rock Fall Engineering (Zeitschrift fur Wildbach-, Lawinen-, Erosions- und Steinschlagschutz, ISBN: 978-3-9503089-5-2), No. 171, pg. 246-254.
70. Kostadinov S., Zlatić M., Dragičević, S., Novković I., Košanin O., Borisavljević A., Lakićević M., Mlađan D. (2014): Antropogenic Influence on Erosion Intensity Changes in Rasina River Watershed Area upstream from “Ćelije” Water Reservoir- Central Serbia, Fresenius Environmental Bulletin, 23 (1), 254-263.

71. Лазаревић Р. (2000). Геоморфологија. Природно математички факултет, Бања Лука.
72. Marchi, L., Borga, M., Preciso, E., & Gaume, E. (2010). Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management. *Journal of Hydrology*, 394(1-2), 118-133.
73. Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft (2009): *Geo Natural Catastrophes 2008: Analyses, Assessments, Positions*.
74. Nasr A., Bruen M., Jordan P., Moles R., Kiely G., Byrne P. (2007) A comparison of SWAT, HSPF and SHETRAN/GOPC for modelling phosphorus export from three catchments in Ireland. *Water Research* 41, 1065 – 1073.
75. Naulin J. - P., Payraastre O., Gaume E. (2013) Spatially distributed flood forecasting in flash flood prone areas: Application to road network supervision in Southern France. *Journal of Hydrology*. 486, 88–99.
76. Никић, З. (2012): Хидрогеологија са геоморфологијом. Универзитет у Београду, Шумарски факултет. Београд.
77. Николић Ј., Никић З. Дуцић В. (2007): Утицај геолошке подлоге на отицај. Шумарство, 1-2, стр.39-48.
78. Николић Ј. (2010): Верификација модела евапотранспирације. Географски институт „Јован Цвијић“ САНУ, посебна издања - књига 78.
79. Norbiato D., Borga M., Esposti S. D., Gaume E. Anquetin S. (2008): Flash flood warning based on rainfall thresholds and soil moisture conditions: An assessment for gauged and ungauged basins. *Journal of Hydrology*, 362, 274– 290.
80. Petković S. Varga S., Mišić B. (1989): Hidrauličke karakteristike reke Vlasine u poplavnom talasu juna 1988. godine. JUSOP '89, Nagle poplave – uzroci i posledice. Zbornik radova, 274-282. Kopaonik, Srbija.
81. Petrović A., Kostadinov S. (2013): Phenomenon of torrential floods as natural hazards in Serbia: Preliminary results of torrential floods data collection, *Book of Abstracts of the International Conference on Natural Hazards - Links between Science and Practice*, p. 11. Serbian Academy of Sciences and Arts, Geographical Institute "Jovan Cvijic": Belgrade.



82. Petrović A., Kostadinov S., Dragičević S. (2014): The Inventory and Characterization of Torrential Flood Phenomenon in Serbia, *Polish Journal of Environmental Studies*. 23, 3, 823-830.
83. Plate E. (2002): Flood risk and flood management. *Journal of Hydrology*. 267, 2–11.
84. Поповић Т. (2007): Тренд промене температуре ваздуха и колочине падавина на подручју Републике Србије. Зборник радова: Шуме и промене климе. Уредници: Кадовић Р. и Медаревић М. Шумарски факултет, Београд.
85. Prakash A., Heggen R. J., Ponce V. M., Replogle J. A., Riggs H. C. (1996): Runoff, stream flow, reservoir yield, water quality. In *Hydrology Handbook* no. 28, 2nd. ed. American Society of Civil Engineers.
86. Prohaska S., Matović Ž., Spasova D. (1989): Hidrometeorološki uslovi I rekonstrukcija poplave Topčiderske reke iz avgusta 1985. godine. *JUSOP '89, Nagle poplave – uzroci i posledice*. Zbornik radova, 274-282. Kopaonik, Srbija.
87. Prohaska S., Ilić A., Miloradović B., Petković T. (2009): Identification and classification of Serbia's historic floods. *Bulletin of the Serbian Geographical Society*, 4, 191-199.
88. Ранковић, Н. (1996): Економика шумарства, Шумарски факултет, Београд.
89. Rawls J. W., Goldman D., Van Mullen J. A., Ward T. J. (1996): Infiltration. In *Hydrology Handbook* no. 28, 2nd. ed. American Society of Civil Engineers.
90. Републички хидрометеоролошки завод Србије (2010): Метеоролошки годишњак 1. за 2009. годину.
91. Републички хидрометеоролошки завод Србије (2014): [http://www.hidmet.gov.rs/ciril/meteorologija/klimatologija\\_godisnjaci.php](http://www.hidmet.gov.rs/ciril/meteorologija/klimatologija_godisnjaci.php). (accessed/приступљено 15.04.2014.)
92. Ristić R., Đeković V., Nikić N., Barbaroša Z. (1997): Reconstruction of torrential flood river Manastirica. *International Conference on the Development of Forestry and Wood Science/Technology. Proceedings*, pp. 236-242, Belgrade.
93. Ристић Р. (1999): Режим појаве и карактеристике великих вода на бујичним сливовима у Србији. Докторска дисертација. Универзитет у Београду, Шумарски факултет.

94. Ристић Р., Маџан Г. (2002): Истраживање процеса интерцепције у буково-јеловој састојини на планини Гоч. Гласник Шумарског факултета, 86, 181-188.
95. Ристић Р. (2003): Време кашњења отицаја на бујичним сливовима у Србији. Гласник Шумарског факултета, 87, 51-65.
96. Ristić R., Macan G., Malušević, I. (2005): Influence of forest ecosystems on runoff process on micro-catchments, International Conference on Forest Impact on Hydrological Processes and Soil Erosion, Proceedings, pp. 30-35, Yundola, Bulgaria.
97. Ristić, R., Gavrilović, Z., Stefanović, M., Malusević, I., & Milovanović, I. (2006a): Effects of Urbanization On Appearance of Torrential Floods. Proceedings of the BALWOIS Conference. Presented at the BALWOIS Conference, Ohrid.
98. Ристић Р. (2006b): Време концентрације на бујичним сливовима у Србији. Гласник Шумарског факултета, 93, 7-21.
99. Ristić, R., Radić, B., & Vasiljević, N. (2009): Characteristics of maximal discharges on torrential watersheds in Serbia. Bulletin of Serbian Geographical Society, 89, 161–189.
100. Ristić R., Radić B., Nikić Z., Trivan G., Vasiljević N., Dragičević S., Živković N., Radosavljević Z. (2011a): Erosion control and protection from torrential floods in Serbia - spatial aspects. Spatium, 25, 1-6.
101. Ристић Р., Малошевић, Д. (2011b) Хидрологија бујичних токова. Универзитет у Београду, Шумарски факултет.
102. Ristić R., Radić B., Vasiljević N., Nikić Z. (2011c): Promene načina korišćenja zemljišta i odbrana od poplava - primer sliva reke Jelašnice, Glasnik Šumarskog fakulteta, 103, 115-130.
103. Ristić R., Kostadinov S., Abolmasov B., Dragičević S., Trivan G., Radić B., Trifunović M., Radosavljević Z. (2012): Torrential floods and town and country planning in Serbia. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12, 23.
104. Ristić R., Kostadinov S., Radić B., Trivan G., Nikić Z. (2012): Torrential floods in Serbia – man made and natural hazards. Conference proceedengs of the 12<sup>th</sup> Congress INTERPRAEVENT 2012, Grenoble - France, pp. 771-779.

105. Rosso R., Rulli M. C. (2002): An integrated simulation method for flash-flood risk assessment: Effects of changes in land-use under a historical perspective *Hydrology and Earth System Sciences*, 6(3), 285-294.
106. Roca M., Martín-Vide J. P., Moreta P. J. M.. (2009): Modelling a torrential event in a river confluence. *Journal of Hydrology*, 364, 207–215.
107. Ruiz-Villanueva V., Díez-Herrero A., Stoffel M., Bollschweiler M., Bodoque J. M., Ballesteros J. A. (2010): Dendrogeomorphic analysis of flash floods in a small ungauged mountain catchment (Central Spain). *Geomorphology*, 118, 383–392.
108. Ruiz-Villanueva V., Díez-Herrero A., Bodoque J. M., Ballesteros Cánovas J. A., Stoffel M., (2013): Characterisation of flash floods in small ungauged mountain basins of Central Spain using an integrated approach. *Catena*, 110, 32–43.
109. Ruf W., & Loat R. (2012): Natural hazards in Switzerland: data acquisition, administration, distribution and use. 12th Congress INTERPRAEVENT 2012, Proceedings (Vol. 2, pp. 1067–1078), Grenoble, France.
110. School of Civil Engineering and Geosciences, Newcastle University: SHETRAN water flow component, equations and algorithms. Based on WRSRU/TR9510/61.0 and G. Parkin PhD Thesis (1995) - <http://research.ncl.ac.uk/shetran/Documentation.htm> (accessed/приступљено 19.12.2013.)
111. School of Civil Engineering and Geosciences, Newcastle University: SHETRAN Version 4 – Data requirements, data processing and parameter values. Based on WRSRU/TR9510/61.0 and G. Parkin PhD Thesis (1995) - <http://research.ncl.ac.uk/shetran/Documentation.htm> (accessed/приступљено 19.12.2013.)
112. Slavić M., Huseinspahić Z., Zeljić M. (1989): Rekonstrukcija katastrofalne poplave Radaljske reke avgusta 1989. godine. Zbornik radova JUSOP '89 pp. 363-371. Jugoslovensko društvo za hidrologiju, Jugoslovenski komitet za međunarodni hidrološki program, Kopaonik.
113. Стефановић М., Гавриловић З., Миловановић И., Милојевић М., Јуришић С. (2010): Поплаве на рекама Власини и Нишави. Ерозија, 35, стр. 45-53.

114. Summer W. (2002): Developments in physically-based overland flow modelling  
In *Modelling erosion sediment transport and sediment yield*. Vol. 60.; UNESCO:  
Paris, pp 87–100.
115. French, J., Ing, R., Von Allmen, S., & Wood, R. (1983): Mortality from flash  
floods: a review of national weather service reports, 1969-81. *Public Health  
Reports*, 98(6), 584-588.
116. Freeze, R.A. and Cherry, J.A. (1979). *Groundwater*. Prentice-Hall, Inc.  
Englewood Cliff, New Jersey.
117. Hess J., Schmid F. (2012): Towards optimised early warning developments in  
Switzerland. 12th Congress INTERPRAEVENT 2012, Proceedings (Vol. 2, pp.  
909–916), Grenoble, France.
118. Huntington T. (2006): Evidence for intensification of the global water cycle:  
Review and synthesis. *Journal of Hydrology*, 319, 83-95.
119. Hübl J., Fuchs S., Sitter F., Totschnig R. (2011): Towards a frequency-magnitude  
relationship for torrent events in Austria. 5th International conference on debris-  
flow hazards mitigation: mechanics, prediction and assessment, In *Proceedings*, R.  
Genevois, D. Hamilton, & A. Prestininzi (Eds.), pp. 895–902. Rome, Italy.
120. Camarasa Belmonte A. M., Segura Beltran F. (2001): Flood events in  
Mediterranean ephemeral streams (ramblas) in Valencia region, Spain. *Catena*, 45,  
229–249.
121. Commission of the European Communities. (2004): Communication from the  
Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and  
Social Committee and the Committee of the Regions. Flood risk management.  
Flood prevention, protection and mitigation.
122. Creutin J. D., Borga M., Grunfest E., Lutoff C., Zocatelli D., Ruin I. (2013): A  
space and time framework for analyzing human anticipation of flash floods.  
*Journal of Hydrology*, 482, 14–24.
123. Chow V. T. (1964): *Handbook of Applied Hydrology*. A compendium of water-  
resources technology. Mc Graw-Hill, New York.
124. Šakota V. (1989): Tragom zapisa o poplavama prema srpskim pisanim izvorima  
od XIII do XIX veka. JUSOP '89, Nagle poplave – uzroci i posledice. Zbornik  
radova, 274-282. Kopaonik, Srbija.

125. Wang B. H., Anderson M. L., Dyhouse G. R., Hagen V. K., Jawed K., Riedel J. T., Stedinger J. R. (1996): Chapter 8 - Floods in Hydrology Handbook no. 28, 2nd. ed. American Society of Civil Engineers.
126. Wicks J, Lovell L. & Tarrant O. (2011): Flood Modelling in the Thames Estuary. In: Flood Risk Science and Management. Ed. Pender G. & Faulkner H., Willey-Blackwell.

**ПРИЛОГ: ОСНОВНИ ПОДАЦИ О ПОПИСАНИМ БУЈИЧНИМ  
ПОПЛАВАМА У ИНВЕНТАРУ**

Ред. бр.	Датум	Слив на коме се бујична поплава догодила	Макро слив	Место које је претрпело материјалне штете	Број жртава
1.	20-05-1915	Злотска река	Тимок	Злот, Сумраковац	неколико
2.	20-05-1915	Брестовачка река	Тимок	Брестовачка бања, Метовница	>11
3.	20-05-1915	Црни Тимок	Тимок	Валакоње, Савинац, Сумраковац	-
4.	20-05-1915	Бели Тимок	Тимок	околина Књажевца	-
5.	20-05-1915	Сиколска река	Тимок	Мокрање, Речка	>10
6.	20-05-1915	Јасеничка река	Дунав	Кобишница	-
7.	Мај 1926	Скрапеж	Западна Морава	Пожега	-
8.	13-07-1926	Пећка Бистрица	Бели Дрим	Пећ	неколико
9.	04-08-1929	Калиманска река	Јужна Морава	Владичин Хан	-
10.	18-04-1929	Љубостиња	Колубара	-	-
11.	18-04-1929	Градац	Колубара	-	-
12.	18-04-1929	Кривошија	Колубара	-	-
13.	18-04-1929	Колубара	Колубара	Ваљево	-
14.	03-05-1929	Пећка Бистрица	Бели Дрим	-	-
15.	16-05-1929	Лепеница	Велика Морава	Баточина	-
16.	16-05-1929	Кубршница	Велика Морава	-	-
17.	16-05-1929	Јасеница	Велика Морава	окол. Смед. Паланке	-
18.	16-05-1929	Деспотовица	Западна Морава	Горњи Милановац	-
19.	17-05-1929	Враћевшн. река	Западна Морава	-	-
20.	17-05-1929	Гружа	Западна Морава	-	-
21.	17-05-1929	Ибар	Западна Морава	-	-
22.	17-05-1929	Расина	Западна Морава	Крушевац	-
23.	17-05-1929	Пепељуша	Западна Морава	Читлук	-
24.	19-05-1929	Лугомир	Велика Морава	Јагодина	-
25.	19-05-1929	Нишава	Јужна Морава	Бела Паланка	-
26.	19-05-1929	Чемерница	Западна Морава	Прелина	-

27.	19-05-1929	Белица	Велика Морава	околина Јагодине	-
28.	15-06-1929	Гргурска река	Јужна Морава	Гргуре	-
29.	15-06-1929	Барбатовачка река	Јужна Морава	Барбатовац	-
30.	15-06-1929	Бачка река	Јужна Морава	Калудра	1
31.	26-08-1929	Суводолски поток	Јужна Морава	Суводол	-
32.	26-08-1929	Балван	Јужна Морава	Костур	неколико
33.	26-08-1929	Дубоки Дол	Јужна Морава	Сопот	-
34.	14-03-1931	Ресава	Велика Морава	Деспотовац	-
35.	14-03-1931	Црница	Велика Морава	Параћин	-
36.	12-05-1931	Постењска река	Дрина	Постење	-
37.	12-05-1931	Раковица	Дрина	Цикот	1
38.	12-05-1931	Симанин поток	Дрина	Бања Ковиљача	-
39.	12-05-1931	Гучевски поток	Дрина	Бања Ковиљача	-
40.	10-12-1931	Нишава	Јужна Морава	Ниш	-
41.	10-12-1931	Ибар	Западна Морава	Матарушка бања	-
42.	10-12-1931	Расина	Западна Морава	пут Копаоник- Крушевац	-
43.	10-12-1931	Црнишавска река	Западна Морава	Пут Крушевац- Трстеник	-
44.	10-12-1931	Лопашка река	Западна Морава	Пут Крушевац- Трстеник	-
45.	10-12-1931	Пећка Бистрица	Бели Дрим	Пећ	-
46.	10-12-1931	Лаб	Западна Морава	-	-
47.	10-12-1931	Ситница	Западна Морава	-	-
48.	10-12-1931	Судимски поток	Западна Морава	-	-
49.	10-12-1931	Раваница	Велика Морава	Ћуприја	-
50.	10-12-1931	Црница	Велика Морава	Параћин	-
51.	10-12-1931	Сврљишки Тимок	Тимок	Пут Ргоште- Књажевац	-
52.	10-12-1931	Омашничка река	Западна Морава	Пут Крушевац- Трстеник	-
53.	06-12-1937	Ситница	Западна Морава	Косовска Митровица	-
54.	06-12-1937	Пуста река	Јужна Морава	Сливник	5
55.	06-12-1937	Љушта	Западна Морава	-	-

56.	12-05-1938	Приштевка	Западна Морава	Приштина	-
57.	12-05-1938	Белуша	Западна Морава	Приштина	-
58.	12-05-1938	Ситница	Западна Морава	К.Митровица, Радево	2
59.	12-05-1938	Лаб	Западна Морава	-	-
60.	12-05-1938	Грачанка	Западна Морава	Грачаница	-
61.	12-05-1938	Неродимка	Западна Морава	-	-
62.	12-05-1938	Безимени буј. вод.	Западна Морава	Штимље	-
63.	12-05-1938	Грачанка	Западна Морава	Лапље	-
64.	25-05-1938	Јасеница	Велика Морава	околина См. Паланке	-
65.	25-05-1938	Гружа	Западна Морава	Љуљак	-
66.	25-05-1938	Штира	Дрина	Лозница, Зајача	1
67.	25-05-1938	Лешница	Дрина	Јошева, Милина, Јадранска Лешница	-
68.	25-05-1938	Јадар	Дрина	-	-
69.	25-05-1938	Каменица	Дрина	-	-
70.	25-05-1938	Рабас	Колубара	-	-
71.	25-05-1938	Љубостиња	Колубара	-	-
72.	25-05-1938	Колубара	Колубара	Дивци-Словац	-
73.	25-05-1938	Обница	Колубара	Ваљево	-
74.	25-05-1938	Јабланица	Колубара	Ваљево	-
75.	25-05-1938	Уб	Колубара	Трњаци	-
76.	25-05-1938	Језава	Колубара	Совљак	-
77.	25-05-1938	Кленовица	Колубара	Новаци, Врело, Брезовица	-
78.	25-05-1938	Река	Колубара	Таково	-
79.	25-05-1938	Тамнава	Колубара	Лисо поље	-
80.	25-05-1938	Качер	Колубара	Белановица, Љиг	-
81.	26-05-1938	Добрињска река	Западна Морава	Пут Пожега-Ваљево	-
82.	26-05-1938	Скрапеж	Западна Морава	Пожега	-
83.	28-06-1939	Селски поток	Јужна Морава	Суботинац	11
84.	28-06-1939	Пусти поток	Јужна Морава	Суботинац	-
85.	28-06-1939	Сокоб. Моравица	Јужна Морава	Суботинац	-
86.	09-05-1939	Дејановачка река	Тимок	Дејановац	-
87.	09-05-1939	Алдиначка река	Тимок	Жуковац	-



88.	09-05-1939	Лешчански поток	Тимок	Доња Каменица	-
89.	09-05-1939	Папратска река	Тимок	Горња Каменица	-
90.	09-05-1939	Репушничка река	Тимок	Папратна	-
91.	09-05-1939	Видовачка река	Тимок	Трговиште	-
92.	09-05-1939	Трговишки Тимок	Тимок	Штрбац, Трговиште, Књажевац	-
93.	12-05-1939	Река	Тимок	Мали извор	-
94.	12-05-1939	Мањиначка река	Тимок	Дебелица	-
95.	12-05-1939	Селачка река	Тимок	Селачка	-
96.	27-10-1939	Коритничка река	Јужна Морава	Бела Паланка	17
97.	22-03-1940	Колубара	Колубара	Ваљево, Обреновац	-
98.	22-03-1940	Пештан	Колубара	-	-
99.	22-03-1940	Тамнава	Колубара	-	-
100.	22-03-1940	Турија	Колубара	-	-
101.	22-03-1940	Сиња река	Тимок	Г. Жуниче	-
102.	22-03-1940	Загорска река	Тимок	Вратарница	-
103.	22-03-1940	Река	Тимок	Мали извор	-
104.	27-03-1940	Топчидерска река	Топчидерска река	Раковица	-
105.	27-03-1940	Лим	Дрина	Пријеполје	-
106.	23-06-1948	Калиманска река	Јужна Морава	Владичин Хан	-
107.	23-06-1948	Џепска река	Јужна Морава	Џеп	-
108.	23-06-1948	Предејанска река	Јужна Морава	Предејане	-
109.	23-06-1948	Безимени буј. вод.	Јужна Морава	Копитарце	-
110.	23-06-1948	Аишки поток	Јужна Морава	-	-
111.	23-06-1948	Нишава	Јужна Морава	Ниш	-
112.	23-06-1948	Буј. в. у Грд. кл.	Јужна Морава	-	-
113.	23-06-1948	Јабланица	Јужна Морава	Лесковачка котлина	-
114.	23-06-1948	Јерма	Јужна Морава	-	-
115.	23-06-1948	Ветерница	Јужна Морава	Лесковачка котлина	-
116.	23-06-1948	Јужна Морава	Јужна Морава	-	-
117.	05-09-1951	Кумодрашки поток	Сава	Кумодраж	неколико
118.	05-09-1951	Мокролушки поток	Сава	Мокри луг	-
119.	05-09-1951	Бањички поток	Топчидерска река	Бањица	-
120.	05-09-1951	Топчидерска река	Топчидерска река	Раковица	-

121.	15-07-1952	Долина	Јужна Морава	Трнски Одоровци, Махала Село	1
122.	15-07-1952	Јерма	Јужна Морава	Трнски Одоровци	-
123.	19-02-1955	Расина	Западна Морава	околина Крушевца	-
124.	19-02-1955	Брзанска река	Јужна Морава	пут Вучје - Мирошевце	-
125.	19-02-1955	Горинска река	Јужна Морава	пут Вучје - Мирошевце	-
126.	19-02-1955	Рогоз	Јужна Морава	Пирот	-
127.	19-02-1955	Расиначка река	Јужна Морава	Пирот	-
128.	19-02-1955	Јабланица	Јужна Морава	околина Лесковца	-
129.	19-02-1955	Ветерница	Јужна Морава	околина Лесковца	-
130.	19-02-1955	Бујични в. у Грделичкој кл.	Јужна Морава	-	-
131.	19-02-1955	Шаиновачки поток	Јужна Морава	-	-
132.	21-02-1955	Нишава	Јужна Морава	Пирот, Трупале, Поповац	-
133.	21-02-1955	Топоничка река	Јужна Морава	Мезграја	-
134.	21-02-1955	Раваница	Велика Морава	Ћуприја	-
135.	21-02-1955	Ветерница	Јужна Морава	Лесковац	-
136.	23-05-1955	Габровачка река	Јужна Морава	Ниш	-
137.	23-05-1955	Коритничка река	Јужна Морава	Бела Паланка	-
138.	23-05-1955	Нишава	Јужна Морава	Ниш	-
139.	23-05-1955	Бруснички поток	Јужна Морава	Медвеђа	-
140.	23-05-1955	Јабланица	Јужна Морава	Лебане, Медвеђа	-
141.	23-05-1955	Седлар	Јужна Морава	Чифлук	-
142.	23-05-1955	Темштица	Јужна Морава	Станичење	-
143.	16-08-1955	Царевац	Колубара	Пироман	-
144.	16-08-1955	Трстенчица	Колубара	Пироман	-
145.	16-08-1955	Колубара	Колубара	Обреновац	-
146.	08-10-1955	Сушица	Бели Дрим	Брестовик, Сига, Витомирица	-
147.	08-10-1955	Дечанска Бистрица	Бели Дрим	пут Пећ-Ћаковица	-
148.	08-10-1955	Пећка Бистрица	Бели Дрим	Пећ, пут Пећ-	-

			Андрејевица	
149.	06-03-1956	Расина	Западна Морава	Крусевац -
150.	19-06-1956	Безимени буј. вод.	Јужна Морава	пруга Пирот- Димитровград -
151.	19-06-1956	Безимени буј. вод.	Јужна Морава	пруга Грделица- Ристовац -
152.	19-06-1956	Гушевац	Јужна Морава	В. Крчмир -
153.	19-06-1956	Дубравска река	Јужна Морава	Равна Дубрава -
154.	19-06-1956	Безимени буј. вод.	Јужна Морава	Ћелије -
155.	19-06-1956	Безимени буј. вод.	Јужна Морава	Миљковац -
156.	19-06-1956	Шебетовачка река	Јужна Морава	Шебет -
157.	19-06-1956	Безимени буј. вод.	Јужна Морава	Горњи Душник -
158.	19-06-1956	Баре	Јужна Морава	Сопотница -
159.	19-06-1956	Кутинска река	Јужна Морава	Ниш, Краставче, Доњи Душник 5
160.	22-06-1956	Павлишки поток	Дунав	околина Вршца -
161.	22-06-1956	Токај	Дунав	Три бунара -
162.	22-06-1956	Месић поток	Дунав	Месић, Вршац -
163.	23-06-1956	Куси поток	Колубара	Лајковац -
164.	23-06-1956	Колубара	Колубара	Дивци -
165.	23-07-1956	Месић поток	Дунав	Павлиш >1
166.	23-07-1956	Безимени буј. вод.	Дунав	Велико Средиште -
167.	23-07-1956	Безимени буј. вод.	Дунав	Велико Средиште -
168.	23-07-1956	Безимени буј. вод.	Дунав	Велико Средиште -
169.	24-07-1956	Неродимка	Лепенац	Качаник -
170.	24-07-1956	Лепенац	Лепенац	Качаник 1
171.	24-07-1956	Ветерница	Јужна Морава	Лесковац и села дуж тока -
172.	24-07-1956	Вучјанска река	Јужна Морава	Жабљане, Бунушки Чифлук -
173.	17-08-1956	Безимени буј. вод.	Колубара	Медошевац -
174.	17-08-1956	Дубоки поток	Колубара	Медошевац -
175.	17-08-1956	Турија	Колубара	Венчане -
176.	17-08-1956	Придворица	Колубара	Венчане -

177. 17-08-1956	Јокинац	Колубара	Барошевац	-
178. 17-08-1956	Широковац	Колубара	Рудовци	-
179. 17-08-1956	Даросавица	Колубара	Рудовци	-
180. 17-08-1956	Раковачки поток	Топчидерска река	Раковица	-
181. 17-08-1956	Болечица	Дунав	Винча	-
182. 17-08-1956	Млакачки поток	Дунав	Винча	-
183. 17-08-1956	Рашка	Западна Морава	Нови Пазар	3
184. 17-08-1956	Трнавска река	Западна Морава	Нови Пазар	-
185. 17-08-1956	Јошаница	Западна Морава	Нови Пазар	-
186. 17-08-1956	Топчидерска река	Топчидерска река	Пиносава, Раковица	-
187. 17-08-1956	Раља	Дунав	Раља	-
188. 17-08-1956	Пештан	Колубара	Рудовци, Зеоке	-
189. 21-12-1956	Тимок	Тимок	Трнавац, Чокоњар	-
190. 21-12-1956	Топлица	Јужна Морава	-	-
191. 21-12-1956	Нишава	Јужна Морава	-	-
192. 21-12-1956	Бели Тимок	Тимок	Књажевац-Зајечар	-
193. 21-12-1956	Сврљишки Тимок	Тимок	Подвис, Књажевац	-
194. 21-12-1956	Лаб	Западна Морава	Подујево	-
195. 21-12-1956	Ибар	Западна Морава	Косовска Митровица, Краљево	-
196. 25-05-1957	Јасеница	Велика Морава	Доња Шаторња	-
197. 25-05-1957	Каменица	Велика Морава	Топола	-
198. 25-05-1957	Сребреница	Велика Морава	-	-
199. 25-05-1957	Десановац	Велика Морава	-	-
200. 25-05-1957	Козја река	Велика Морава	-	-
201. 25-05-1957	Јаворски поток	Велика Морава	-	-
202. 25-05-1957	Бањски поток	Велика Морава	-	-
203. 25-05-1957	Кубришница	Велика Морава	-	-
204. 17-02-1960	Пећка Бистрица	Бели Дрим	Пећ и околина	-
205. 23-07-1960	Клисура	Велика Морава	Страгари	-
206. 23-07-1960	Сребреница	Велика Морава	Љубичевац	-
207. 02-12-1960	Ереник	Бели Дрим	пут Дечани-Јуник- Баковица	-
208. 02-12-1960	Пећка Бистрица	Бели Дрим	путеви	-

209.	21-05-1961	Лаб	Западна Морава	-	1
210.	21-05-1961	Лепенац	Лепенац	Качаник	-
211.	21-05-1961	Ливочка река	Јужна Морава	пут Бујановац- Гњилане-Урошевац	-
212.	21-05-1961	Грачанка	Западна Морава	Грачаница	-
213.	21-05-1961	Безимени буј. вод.	Лепенац	Главица код Урошевца	-
214.	21-05-1961	Неродимка	Лепенац	Качаник	-
215.	21-05-1961	Трстеничка река	Лепенац	Качаник	-
216.	21-05-1961	Јошевка	Јужна Морава	-	-
217.	21-05-1961	Биначка Морава	Јужна Морава	Понош, Гњилане	1
218.	21-05-1961	Нечаја	Сава	Прњавор	1
219.	21-05-1961	Камичак	Сава	Шабац	-
220.	21-05-1961	Шуманска река	Јужна Морава	Шумане, Горње Врановце	-
221.	21-05-1961	Врелска река	Јужна Морава	Велепоље	1
222.	21-05-1961	Безимени буј. вод.	Западна Морава	Пут Урошевац- Гњилане	-
223.	21-05-1961	Лепаштица	Јужна Морава	Медвеђа	-
224.	21-05-1961	Батлава	Западна Морава	-	-
225.	21-05-1961	Ситница	Западна Морава	Вучитрн-К. Митровица	-
226.	21-05-1961	Јабланица	Јужна Морава	Живково, Ждеглово, Коњино, Винарце	-
227.	21-05-1961	Уб	Колубара	Уб	-
228.	21-05-1961	Џепска река	Јужна Морава	Џеп	-
229.	21-05-1961	Карањевац	Јужна Морава	Власе	-
230.	21-05-1961	Ибар	Западна Морава	Косовска Митровица	-
231.	21-05-1961	Предејанска река	Јужна Морава	Предејане	-
232.	21-05-1961	Ветерница	Јужна Морава	околина Лесковца	-
233.	21-05-1961	Шараница	Јужна Морава	Печењевце	-
234.	22-05-1961	Јасеница	Велика Морава	Смедеревска Пал.- Велика Плана	-
235.	22-05-1961	Јужна Морава	Јужна Морава	пут Прешево- Владичин Хан	-

236.	22-05-1961	Сребреница	Велика Морава	Страгари	-
237.	25-05-1961	Јабланица	Јужна Морава	Доње Врановце, Велико Војловце	-
238.	01-04-1962	Добродол	Дунав	-	-
239.	01-04-1962	Шеловренац	Дунав	-	-
240.	01-04-1962	Колубара	Колубара	Ваљево, Обреновац	-
241.	01-04-1962	Тамнава	Колубара	-	-
242.	01-04-1962	Камичак	Сава	-	-
243.	16-04-1962	Ситница	Западна Морава	Вучитрн	-
244.	17-04-1962	Буј. в. у Грд. кл.	Јужна Морава	Грделица-Предејане	-
245.	17-04-1962	Језава	Дунав	Смедерево	-
246.	01-12-1962	Власина	Јужна Морава	-	-
247.	08-02-1963	Ветерница	Јужна Морава	Лесковац	-
248.	08-02-1963	Јужна Морава	Јужна Морава	Пут Прешево-Врање	-
249.	08-02-1963	Ситница	Западна Морава	-	-
250.	08-02-1963	Лаб	Западна Морава	-	-
251.	08-02-1963	Приштевка	Западна Морава	-	-
252.	18-02-1963	Нишава	Јужна Морава	Пирот	-
253.	18-02-1963	Јужна Морава	Јужна Морава	околина Бујановца	-
254.	18-02-1963	Власина	Јужна Морава	Власотинце	-
255.	18-02-1963	Јабланица	Јужна Морава	Шилово, Лебане	-
256.	18-02-1963	Топлица	Јужна Морава	Дољевац	-
257.	18-02-1963	Ветерница	Јужна Морава	Лесковац	-
258.	16-05-1965	Лим	Дрина	Прибој	-
259.	16-05-1965	Ветерница	Јужна Морава	Лесковац	-
260.	16-05-1965	Лукавица	Колубара	Лазаревац	-
261.	16-05-1965	Западна Морава	Западна Морава	околина Чачка	-
262.	16-05-1965	Градац	Колубара	Ваљево	-
263.	16-05-1965	Јабланица	Колубара	Ваљево	-
264.	16-05-1965	Обница	Колубара	Ваљево	-
265.	16-05-1965	Ђетиња	Западна Морава	Ужице	-
266.	04-06-1966	Ветерница	Јужна Морава	Лесковац	-
267.	18-06-1966	Буј. в. у Руг кл.	Бели Дрим	пут Пећ-Андријевица	-
268.	24-05-1967	Јадар	Дрина	-	-

269.	24-05-1967	Лешница	Дрина	-	-
270.	24-05-1967	Штира	Дрина	-	-
271.	24-05-1967	Тамнава	Колубара	-	-
272.	24-05-1967	Уб	Колубара	-	-
273.	24-05-1967	Кладница	Колубара	-	-
274.	24-05-1967	Турија	Колубара	-	-
275.	24-05-1967	Рабас	Колубара	-	-
276.	24-05-1967	Обница	Колубара	-	-
277.	24-05-1967	Јабланица	Колубара	-	-
278.	24-05-1967	Градац	Колубара	-	-
279.	24-05-1967	Љиг	Колубара	-	-
280.	24-05-1967	Качер	Колубара	-	-
281.	09-09-1967	Топчидерска река	Топчидерска река	Рипањ, Раковица	-
282.	09-09-1967	Бели Поток	Топчидерска река	-	-
283.	09-09-1967	Кијевски поток	Топчидерска река	-	-
284.	09-09-1967	Раковачки поток	Топчидерска река	Раковица	-
285.	09-09-1967	Бањички поток	Топчидерска река	-	-
286.	09-09-1967	Јелезовац	Топчидерска река	-	-
287.	09-06-1969	Ресава	Велика Морава	Свилајнац, Стрмостен, Стењевац	1
288.	09-06-1969	Ресавица	Велика Морава	-	-
289.	09-06-1969	Лекин поток	Велика Морава	-	-
290.	09-06-1969	Добрич	Велика Морава	-	-
291.	09-06-1969	В. Честобродица	Велика Морава	-	-
292.	09-06-1969	Врли поток	Велика Морава	-	-
293.	09-06-1969	Топлик	Велика Морава	-	-
294.	09-06-1969	Виљевац	Велика Морава	-	-
295.	09-06-1969	М. Честобродица	Велика Морава	-	-
296.	09-06-1969	Грза	Велика Морава	Лешје, Мутница	-
297.	09-06-1969	Суvara	Велика Морава	-	-
298.	09-06-1969	Јаз	Велика Морава	-	-
299.	09-06-1969	Петрушински пот.	Велика Морава	-	-
300.	09-06-1969	Раваница	Велика Морава	Сењски рудник	-
301.	09-06-1969	Предејанска река	Јужна Морава	Предејане	-

302.	09-06-1969	Брајкова долина	Јужна Морава	-	-
303.	09-06-1969	Власина	Јужна Морава	Конопница	-
304.	09-06-1969	Пуста река	Јужна Морава	Камењари	-
305.	09-06-1969	Црница	Велика Морава	Параћин, Давидовац	-
306.	14-06-1969	Кривељска река	Тимок	Кривељ	-
307.	14-06-1969	Бук	Велика Морава	пут Свилајнац- Пожаревац	-
308.	14-06-1969	Горњи поток	Велика Морава	Мириловац	-
309.	14-06-1969	Петрушински п.	Велика Морава	Доња Мутница	-
310.	14-06-1969	Топлик	Велика Морава	Поповац	-
311.	14-06-1969	Суvara	Велика Морава	Горња Мутница	-
312.	14-06-1969	Ресава	Велика Морава	Свилајнац, Седларе, Луковица, Суботица	-
313.	14-06-1969	Бељево	Велика Морава	Кушиљево	-
314.	14-06-1969	Црница	Велика Морава	Давидовац, Параћин	-
315.	14-06-1969	Грза	Велика Морава	Лешје, Мутница	-
316.	15-06-1969	Топчидерска река	Топчидерска река	Раковица	-
317.	15-06-1969	Кијевски поток	Топчидерска река	Кијево	-
318.	15-06-1969	Каменица	Велика Морава	Топола	-
319.	15-06-1969	Вукосавачка река	Колубара	Вукосавци	1
320.	15-06-1969	Качер	Колубара	Белановица	-
321.	15-06-1969	Љиг	Колубара	Љиг	-
322.	15-06-1969	Пештан	Колубара	Партизани	-
323.	15-06-1969	Млава	Млава	Пут Пожаревац- Петровац	-
324.	15-06-1969	Каленићка река	Велика Морава	Опарић	-
325.	15-06-1969	Риљачка река	Западна Морава	Риљац, М. Сугубина, М. Дренова	-
326.	15-06-1969	Орловачки поток	Западна Морава	Орловац	-
327.	15-06-1969	Сребрница	Западна Морава	Риђевштица	-
328.	15-06-1969	Тресава	Западна Морава	Пољна	-
329.	15-06-1969	Кубршница	Велика Морава	Аранђеловац	2
330.	15-06-1969	Дубочка река	Пек	Дубока	-
331.	15-06-1969	Безимени буј. вод.	Пек	Мајданпек	-



332.	15-06-1969	Мали Пек	Дунав	Мајданпек	-
333.	15-06-1969	Грочица	Дунав	Гроцка	-
334.	15-06-1969	Бранковића поток	Дунав	Бегалица	-
335.	15-06-1969	Бегаличка река	Дунав	Бегалица	-
336.	18-06-1969	Власина	Јужна Морава	Власотинце	-
337.	18-06-1969	Црнобарски поток	Јужна Морава	-	-
338.	18-06-1969	Безимени буј. вод.	Пек	Рашанац	-
339.	18-06-1969	Млава	Млава	Мало Црниће, Петровац	-
340.	18-06-1969	Врвине	Пек	Раброво	-
341.	10-01-1970	Дрина	Дрина	Лозница, Бања Ковиљача	-
342.	10-01-1970	Штира	Дрина	Лозница	-
343.	10-01-1970	Јадар	Дрина	Пут Лозница-Лешн.	-
344.	18-02-1970	Босут	Сава	-	-
345.	25-02-1970	Убача	Колубара	-	-
346.	25-02-1970	Грачица	Колубара	Совљак, Уб	-
347.	25-02-1970	Уб	Колубара	Чучуге	-
348.	25-02-1970	Буковица	Колубара	Памбуковица, Чучуге	-
349.	24-05-1970	Јасеница	Велика Морава	Крушево	-
350.	24-05-1970	Кобиљска река	Западна Морава	Кобиље	-
351.	24-05-1970	Рибарска река	Јужна Морава	Ђунис	-
352.	27-05-1970	Раваница	Велика Морава	-	-
353.	27-05-1970	Ресавица	Велика Морава	-	-
354.	27-05-1970	Ресава	Велика Морава	Свилајнац	-
355.	27-05-1970	Булињак	Велика Морава	Кушиљево	-
356.	27-05-1970	Црница	Велика Морава	-	-
357.	30-05-1970	Ресава	Велика Морава	Свилајнац, Седларе, Луковица, Суботица	-
358.	01-06-1970	Бресница	Велика Морава	Крагујевац	-
359.	01-06-1970	Лепеница	Велика Морава	Пут Крагујевац- Лапово	-
360.	02-06-1970	Јасеница	Велика Морава	Велика Плана	-
361.	02-06-1970	Кубршница	Велика Морава	Смедеревска Паланка	-

362.	25-08-1972	Борска река	Тимок	Бор	-
363.	07-04-1973	Кошијски поток	Западна Морава	околина Кушевца	-
364.	10-04-1973	Јабланица	Дрина	Сјеница	-
365.	10-04-1973	Увац	Дрина	Сјеница	-
366.	10-04-1973	Грабовица	Дрина	Сјеница	-
367.	10-04-1973	Вапа	Дрина	Сјеница	-
368.	10-04-1973	Рибница	Западна Морава	-	-
369.	10-04-1973	Ибар	Западна Морава	-	-
370.	10-04-1973	Лим	Дрина	Бродарево, Пријеполје	-
371.	15-05-1975	Корбевачка река	Јужна Морава	железничка пруга код Врањске бање	12
372.	19-06-1975	Мусина река	Западна Морава	Адрани	-
373.	19-06-1975	Рибарнички поток	Западна Морава	околина Краљева	-
374.	19-06-1975	Расина	Западна Морава	-	-
375.	19-06-1975	Скрапеж	Западна Морава	Пожега	-
376.	26-06-1975	Врдилска река	Западна Морава	Врдила	-
377.	26-06-1975	Рочевачка река	Западна Морава	Роћевићи	-
378.	26-06-1975	Мусина река	Западна Морава	Дракчићи, Адрани	-
379.	26-06-1975	Моравац	Западна Морава	Грдица	-
380.	26-06-1975	Мрсаћка река	Западна Морава	Мрсаћ	-
381.	26-06-1975	Рибница	Западна Морава	Рибница	-
382.	26-06-1975	Крушевачки поток	Западна Морава	Крушевица	-
383.	26-06-1975	Безимени буј. вод.	Западна Морава	Матаруге	-
384.	26-06-1975	Кобиљска река	Западна Морава	Кобиље, В. Головоде	-
385.	26-06-1975	Станачки поток	Западна Морава	Станци	-
386.	26-06-1975	Рибарска река	Јужна Морава	пут Рибарска Бања- Крушевац	-
387.	26-06-1975	Ветерница	Јужна Морава	Лесковац	-
388.	26-06-1975	Винка	Јужна Морава	Мирошевце	-
389.	26-06-1975	Туловска река	Јужна Морава	Бадинце, Буниброд, Губеревац	-
390.	26-06-1975	Вучјанска река	Јужна Морава	Вучје	-
391.	26-06-1975	Копашничка река	Јужна Морава	В. Копашница	-

392.	26-06-1975	Грабовничка река	Јужна Морава	Грабовница	-
393.	26-06-1975	Скрапеж	Западна Морава	Пожега	-
394.	26-06-1975	Ражанска река	Западна Морава	Ражана	-
395.	26-06-1975	Кладороба	Западна Морава	Косјерић	-
396.	26-06-1975	Мионичка река	Западна Морава	Поточањи	-
397.	26-09-1975	Грошничка река	Велика Морава	Крагујевац	-
398.	26-09-1975	Бресница	Велика Морава	Крагујевац	-
399.	26-09-1975	Ждралица	Велика Морава	Крагујевац	-
400.	26-09-1975	Лепеница	Велика Морава	Крагујевац	-
401.	20-11-1975	Ђетиња	Западна Морава	Пожега, Злакуса	-
402.	20-11-1975	Скрапеж	Западна Морава	Пожега, Косјерић	-
403.	06-06-1976	Туларска река	Јужна Морава	Лебане	-
404.	06-06-1976	Лецка река	Јужна Морава	Леце	-
405.	06-06-1976	Газдарска река	Јужна Морава	Газдаре	-
406.	06-06-1976	Јабланица	Јужна Морава	Лесковац, Прибој, Залужње, Печењевце	3
407.	06-06-1976	Мијајловачка река	Западна Морава	Медвеђа	-
408.	06-06-1976	Карањевац	Јужна Морава	Власе	-
409.	06-06-1976	Лужница	Јужна Морава	Бабушница	-
410.	06-06-1976	Биначка Морава	Јужна Морава	Бујановац	-
411.	06-06-1976	Топлица	Јужна Морава	Прокупље	-
412.	06-06-1976	Каленићка река	Велика Морава	Варварин	-
413.	06-06-1976	Жупањевачка река	Велика Морава	Беочић, Драгово	-
414.	06-06-1976	Дуленска река	Велика Морава	Лоћика	-
415.	06-06-1976	Петровачка река	Велика Морава	Крагујевац	-
416.	06-06-1976	Козујевачки поток	Велика Морава	Крагујевац	-
417.	06-06-1976	Безимени буј. вод.	Велика Морава	Крагујевац, Станово	-
418.	06-06-1976	Грошничка река	Велика Морава	Крагујевац	-
419.	06-06-1976	Бресница	Велика Морава	Крагујевац	-
420.	06-06-1976	Белица	Велика Морава	Јагодина	-
421.	06-06-1976	Лугомир	Велика Морава	Јагодина	-
422.	06-06-1976	Бистрица	Западна Морава	Модрица	-
423.	06-06-1976	Расина	Јужна Морава	Крушевац	-
424.	06-06-1976	Кобилска река	Западна Морава	В. Головоде	-

425.	06-06-1976	Риљачка река	Западна Морава	В. Дренова, Селиште	-
426.	06-06-1976	Мијајловачка река	Западна Морава	Медвеђа	-
427.	07-06-1976	Стубљанска река	Јужна Морава	Стубла	-
428.	07-06-1976	Лепенац	Лепенац	Качаник	-
429.	07-06-1976	Ситница	Јужна Морава	Липљан-Вучитрн	-
430.	07-06-1976	Биначка Морава	Јужна Морава	Бујановац	-
431.	07-06-1976	Дубничка река	Западна Морава	Светље код Подујева	1
432.	16-02-1977	Обршки поток	Млава	Мало Црниће	-
433.	16-02-1977	Љушта	Западна Морава	Косовска Митровица	-
434.	16-02-1977	Јасеница	Велика Морава	Велико Орашје	-
435.	16-02-1977	Губерашка	Велика Морава	-	-
436.	17-04-1977	Топчидерска река	Топчидерска река	Ресник, Кнежевац	-
437.	17-04-1977	Кијевски поток	Топчидерска река	Кијево	-
438.	17-04-1977	Раковачки поток	Топчидерска река	Раковица	-
439.	18-04-1977	Кубршница	Велика Морава	Смедеревска Паланка	-
440.	18-04-1977	Млава	Млава	Петровац	-
441.	18-04-1977	Бусур	Млава	Петровац	-
442.	18-04-1977	Обршки поток	Млава	Мало Црниће	-
443.	18-04-1977	Јасеница	Велика Морава	Смедеревска Паланка	-
444.	14-02-1978	Топчидерска река	Топчидерска река	Кнежевац	-
445.	14-02-1978	Кијевски поток	Топчидерска река	Кијево	-
446.	14-02-1978	Раковачки поток	Топчидерска река	Раковица	-
447.	05-05-1978	Нера	Дунав	Кусић, Бела Црква	-
448.	05-05-1978	Караш	Дунав	Јасеново, Банатска Суботица, Добричево	-
449.	28-06-1978	Пештан	Колубара	Лазаревац, Вреоци	-
450.	28-06-1978	Бељаница	Колубара	-	-
451.	28-06-1978	Турија	Колубара	-	-
452.	30-06-1978	Млава	Млава	Петровац	-
453.	30-06-1978	Витовница	Млава	-	-
454.	30-06-1978	Тисница	Млава	Жагубица	-
455.	18-11-1979	Пећка Бистрица	Бели Дрим	Пећ	1
456.	18-11-1979	Трава	Бели Дрим	Ораховац	-
457.	18-11-1979	Ереник	Бели Дрим	Ђаковица	-

458.	18-11-1979	Чоколица	Бели Дрим	-	-
459.	18-11-1979	Дечанска Бистрица	Бели Дрим	-	-
460.	18-11-1979	Лочанска Бистрица	Бели Дрим	-	-
461.	18-11-1979	Дрина	Дрина	Љубовија	-
462.	18-11-1979	Лим	Дрина	пут Бијело Поље- Пријепоље, Прибој	2
463.	18-11-1979	Рашка	Западна Морава	Рашка, Нови Пазар	3
464.	18-11-1979	Дежевска река	Западна Морава	Дежева	-
465.	18-11-1979	Ибар	Западна Морава	Косовска Митровица, Краљево	-
466.	18-11-1979	Расина	Западна Морава	Крушевац	-
467.	18-11-1979	Призр. Бистрица	Бели Дрим	Призрен	-
468.	18-11-1979	Биначка Морава	Јужна Морава	Витина, Мугила	-
469.	18-11-1979	Лепенац	Лепенац	Качаник	-
470.	18-11-1979	Неродимка	Лепенац	Качаник	-
471.	20-11-1979	Милешевка	Дрина	Пријепоље	-
472.	20-11-1979	Сељашница	Дрина	-	-
473.	20-11-1979	Видрењак	Западна Морава	Тутин	-
474.	20-11-1979	Грабовица	Дрина	Сјеница	-
475.	20-11-1979	Бањска коса	Јужна Морава	Куршумлија	-
476.	20-11-1979	Топлица	Јужна Морава	Прокупље, Житорађа	-
477.	20-11-1979	Косаница	Јужна Морава	Куршумлија	-
478.	30-05-1980	Лепеница	Велика Морава	Крагујевац	-
479.	30-05-1980	Јасеница	Велика Морава	Велико Орашје	-
480.	30-05-1980	Рача	Велика Морава	-	-
481.	30-05-1980	Млава	Млава	Петровац	-
482.	17-03-1981	Караш	Дунав	Јасеново, Дупљаја	-
483.	17-03-1981	Нера	Дунав	Бела Црква	-
484.	19-03-1981	Милошевица	Сава	Липолист	-
485.	19-03-1981	Јесовац	Велика Морава	Аранђеловац	-
486.	19-03-1981	Кубршница	Велика Морава	Аранђеловац	-
487.	19-03-1981	Рача	Велика Морава	Рача	-
488.	19-03-1981	Луг	Велика Морава	Младеновац	-
489.	19-03-1981	Колубара	Колубара	Обреновац	-

490.	19-03-1981	Тамнава	Колубара	-	-
491.	19-03-1981	Раковачки поток	Топчидерска река	Раковица	-
492.	19-03-1981	Кијевски поток	Топчидерска река	Кијево	-
493.	19-03-1981	Турија	Колубара	Венчане	-
494.	19-03-1981	Бељаница	Колубара	околина Лазаревца	-
495.	19-03-1981	Пештан	Колубара	околина Лазаревца	-
496.	19-03-1981	Гружа	Западна Морава	Кнић	-
497.	19-03-1981	Јасеница	Велика Морава	Топола	-
498.	19-03-1981	Петровачка река	Велика Морава	Крагујевац	-
499.	19-03-1981	Топчидерска река	Топчидерска река	Раковица	-
500.	17-11-1981	Луг	Велика Морава	Младеновац	-
501.	17-11-1981	Река	Сава	Железник	-
502.	17-11-1981	Раља	Велика Морава	Умчари	-
503.	17-11-1981	Болечица	Дунав	Лештане	-
504.	17-11-1981	Топчидерска река	Топчидерска река	Раковица	-
505.	25-07-1982	Љештарска долина	Јужна Морава	Прибој Врањски	-
506.	02-07-1983	Сејаничка река	Јужна Морава	Грделица	-
507.	23-06-1985	Јадар	Дрина	Осечина	-
508.	23-06-1985	Тамнава	Колубара	-	-
509.	23-06-1985	Пецка	Дрина	Пецка	-
510.	23-06-1985	Гружа	Западна Морава	-	-
511.	30-08-1985	Млава	Млава	Петровац	3
512.	30-08-1985	Паригуз	Топчидерска река	Пиносава	-
513.	30-08-1985	Топчидерска река	Топчидерска река	Раковица	-
514.	30-08-1985	Остружањска река	Дрина	Осечина	-
515.	30-08-1985	Бела Река	Топчидерска река	Рипањ	-
516.	30-08-1985	Врелски поток	Дунав	Сланци	-
517.	30-08-1985	Река	Сава	Железник	-
518.	30-08-1985	Љубовија	Дрина	Љубовија	-
519.	21-02-1986	Лугомир	Велика Морава	Јагодина	1
520.	21-02-1986	Лепеница	Велика Морава	Гроцка, Бадњевац	-
521.	21-02-1986	Кијевски поток	Велика Морава	Брзан	-
522.	21-02-1986	Сокобањска Моравица	Јужна Морава	Сокобања	-

523.	21-02-1986	Колубара	Колубара	Лајковац	-
524.	21-02-1986	Пруговачка река	Јужна Морава	Алексинац	-
525.	21-02-1986	Јерма	Јужна Морава	-	-
526.	21-02-1986	Топлица	Јужна Морава	-	-
527.	21-02-1986	Млава	Млава	Жагубица	-
528.	21-02-1986	Сврљишки Тимок	Тимок	Књажевац	-
529.	21-02-1986	Трговишки Тимок	Тимок	Књажевац	-
530.	21-02-1986	Брестовачка река	Тимок	-	-
531.	21-02-1986	Гружа	Западна Морава	-	-
532.	21-02-1986	Рача	Велика Морава	-	-
533.	21-02-1986	Казански поток	Велика Морава	Лапово	-
534.	28-03-1986	Црни Тимок	Тимок	Гамзиградска бања, Табаковац-Трнавац	-
535.	13-06-1986	Белица	Западна Морава	Драгачево	-
536.	13-06-1986	Лепеница	Велика Морава	Крагујевац	-
537.	13-06-1986	Топчидерска река	Топчидерска река	Раковица	-
538.	13-06-1986	Болечица	Дунав	Винча	-
539.	13-06-1986	Безимени буј. вод.	Дунав	Болеч	-
540.	13-06-1986	Кијевски поток	Топчидерска река	Кијево	-
541.	13-06-1986	Кланичка река	Колубара	Дивци	-
542.	13-06-1986	Колубара	Колубара	Словац	-
543.	13-06-1986	Рибница	Западна Морава	Рибница	-
544.	17-07-1986	Брвеница	Западна Морава	Брвеник	-
545.	17-07-1986	Ибар	Западна Морава	Бањевац	-
546.	17-07-1986	Рашка	Западна Морава	Рашка	-
547.	17-07-1986	Луковска река	Јужна Морава	Луково	-
548.	17-07-1986	Топлица	Јужна Морава	Мерћез, Судимља	-
549.	17-07-1986	Сланички поток	Јужна Морава	Доње Левиће	-
550.	17-07-1986	Блажевски поток	Јужна Морава	Блажево	-
551.	17-07-1986	Витошка река	Јужна Морава	Витоше	-
552.	17-07-1986	Братуљевачки пот.	Тимок	Неготин	-
553.	17-07-1986	Безимени буј. вод.	Тимок	Зајечар	-
554.	17-07-1986	Штира	Дрина	Лозница	-
555.	17-07-1986	Сокобањска	Јужна Морава	Сокобања	-

Моравица				
556. 23-07-1986	Црни Тимок	Тимок	Гамзиградска бања	-
557. 23-07-1986	Бели Тимок	Тимок	Зајечар	-
558. 23-07-1986	Јабланица	Јужна Морава	Турековац, Печењевце	-
559. 23-07-1986	Ветерница	Јужна Морава	Лесковац	-
560. 23-07-1986	Вучјанска река	Јужна Морава	Вучје	-
561. 23-07-1986	Сејаничка река	Јужна Морава	Грделица	-
562. 01-04-1987	Црни Тимок	Тимок	Зајечар	-
563. 01-04-1987	Бели Тимок	Тимок	Књажевац	-
564. 01-04-1987	Арнаута	Тимок	Бољевац	-
565. 01-04-1987	Сврљишки Тимок	Тимок	Сврљиг	-
566. 01-04-1987	Пчиња	Пчиња	Трговиште	-
567. 01-04-1987	Мртвина	Јужна Морава	Крупац	-
568. 01-04-1987	Црвена река	Јужна Морава	Црвена река	-
569. 01-04-1987	Нишава	Јужна Морава	Бела Паланка	-
570. 01-04-1987	Мокранска река	Јужна Морава	Бела Паланка	-
571. 01-04-1987	Ветерница	Јужна Морава	Лесковац	-
572. 01-04-1987	Пуста река	Јужна Морава	Бојник	-
573. 01-04-1987	Власина	Јужна Морава	Власотинце	-
574. 01-04-1987	Туловска река	Јужна Морава	околина Лесковца	-
575. 07-05-1987	Јадар	Дрина	Стража, Горњи Добрић, Козјак	-
576. 07-05-1987	Штира	Дрина	Лозница	1
577. 07-05-1987	Обница	Колубара	Ваљево	-
578. 07-05-1987	Јабланица	Колубара	Ваљево	-
579. 07-05-1987	Жеравија	Дрина	Клупци	-
580. 07-05-1987	Лешничка река	Дрина	Јадарска Лешница, Доњи Добрић	-
581. 22-05-1987	Колубара	Колубара	Ваљево	-
582. 22-05-1987	Градац	Колубара	Ваљево	-
583. 22-05-1987	Јабланица	Колубара	Ваљево	-
584. 22-05-1987	Обница	Колубара	Ваљево	-
585. 22-05-1987	Рабас	Колубара	околина Ваљева	-



586.	22-05-1987	Добрава	Сава	Миокус	-
587.	22-05-1987	Думача	Сава	-	-
588.	22-05-1987	Пецка	Дрина	Пецка	-
589.	26-06-1988	Равна река	Јужна Морава	Раков Дол	-
590.	26-06-1988	Лужница	Јужна Морава	Свође	-
591.	26-06-1988	Власина	Јужна Морава	Власотинце	4
592.	20-08-1989	Радаљска река	Дрина	околина М. Зворника	-
593.	14-06-1992	Корбевачка река	Јужна Морава	Корбевац	-
594.	14-06-1992	Врањскобањска р.	Јужна Морава	Врањска бања	-
595.	14-06-1992	Млава	Млава	Петровац	-
596.	14-10-1992	Јадар	Дрина	Горњи Добриц, Брадић	-
597.	22-06-1994	Паланачки поток	Топчидерска река	Рипањ	1
598.	04-01-1996	Биначка Морава	Јужна Морава	Ратаје	-
599.	04-01-1996	Преш. Моравица	Јужна Морава	Левосоје, Бујановац	-
600.	13-06-1996	Рибница	Колубара	Паштрић	-
601.	13-06-1996	Манастирица	Колубара	Брежђе	-
602.	16-06-1999	Врелски поток	Дунав	Велико село, Сланци	-
603.	16-06-1999	Топчидерска река	Топчидерска река	Рипањ	-
604.	10-07-1999	Топчидерска река	Топчидерска река	Рипањ	10
605.	10-07-1999	Дуленска река	Велика Морава	Рековац	1
606.	10-07-1999	Власина	Јужна Морава	Власотинце	-
607.	10-07-1999	Млава	Млава	Петровац	-
608.	10-07-1999	Кучајска река	Пек	Кучево	-
609.	10-07-1999	Босута	Колубара	Босута	-
610.	10-07-1999	Букуља	Колубара	Јеловик, Гараши	-
611.	10-07-1999	Језава	Дунав	Осипаоница	-
612.	10-07-1999	Љиг	Колубара	Љиг	-
613.	10-07-1999	Велики Рзав	Западна Морава	Ариље	-
614.	10-07-1999	Деспотовица	Западна Морава	Горњи Милановац	-
615.	10-07-1999	Гружа	Западна Морава	Витановац	-
616.	10-07-1999	Чемерница	Западна Морава	Прељина, Балуга	-
617.	10-07-1999	Дичина	Западна Морава	Семедраж	-
618.	10-07-1999	Безимени буј. вод.	Западна Морава	Мала Плана	-

619.	10-07-1999	Каменица	Велика Морава	Топола	-
620.	10-07-1999	Ђуринци	Велика Морава	Доња Трешњевица	1
621.	10-07-1999	Рача	Велика Морава	Рача	-
622.	10-07-1999	Лугомир	Велика Морава	Јагодина	1
623.	10-07-1999	Ждраљица	Велика Морава	Крагујевац	-
624.	10-07-1999	Грошничка река	Велика Морава	Крагујевац	-
625.	10-07-1999	Лепеница	Велика Морава	Бадњевац, Крагујевац	4
626.	10-07-1999	Бојанац	Велика Морава	Кусадак	-
627.	10-07-1999	Јасеница	Велика Морава	Придворице	-
628.	10-07-1999	Сребреница	Велика Морава	Страгари	-
629.	10-07-1999	Црквени поток	Велика Морава	Церовац	-
630.	10-07-1999	Кубршница	Велика Морава	Аранђеловац, Ратари	-
631.	10-07-1999	Коларац	Западна Морава	-	-
632.	10-07-1999	Раковачки поток	Топчидерска река	Раковица	-
633.	10-07-1999	Гавешки поток	Западна Морава	-	-
634.	10-07-1999	Велики Штубаљ	Западна Морава	-	-
635.	10-07-1999	Мали Штубаљ	Западна Морава	-	-
636.	10-07-1999	Вучачки поток	Западна Морава	-	-
637.	10-07-1999	Црквени поток	Велика Морава	-	-
638.	10-07-1999	Качер	Колубара	Љиг	-
639.	10-07-1999	Јасеница	Велика Морава	Божурња, Смедеревска Паланка	-
640.	28-07-1999	Дрлупска река	Западна Морава	Дрлупа	1
641.	28-07-1999	Годачићка река	Западна Морава	Годачица	-
642.	28-07-1999	Уб	Колубара	Уб, Совљак	-
643.	31-07-1999	Колубара	Колубара	Дражевац	-
644.	31-07-1999	Баричка река	Сава	Барич	-
645.	31-07-1999	Вукичевица	Сава	Дрен	-
646.	31-07-1999	Јасеница	Велика Морава	Жабаре	-
647.	31-07-1999	Кубршница	Велика Морава	Смедеревска Паланка	-
648.	31-07-1999	Грачица	Колубара	Уб	-
649.	31-07-1999	Марица	Колубара	Дражевац	-
650.	31-07-1999	Тамнава	Колубара	Новаци, Брезовица	-
651.	31-07-1999	Бељаница	Колубара	Конатице	-

652.	01-08-1999	Каменица	Велика Морава	Топола	-
653.	23-04-2001	Колубара	Колубара	Ваљево	-
654.	23-04-2001	Љиг	Колубара	Љиг	-
655.	23-04-2001	Уб	Колубара	Уб	-
656.	23-04-2001	Тамнава	Колубара	Пироман	-
657.	22-06-2001	Штира	Дрина	Лозница	-
658.	22-06-2001	Јадар	Дрина	Горњи Добрић, Козјак, Јелав	-
659.	22-06-2001	Коренита	Дрина	Коренита	-
660.	22-06-2001	Жеравија	Дрина	-	-
661.	22-06-2001	Остружањска река	Дрина	Осечина	-
662.	22-06-2001	Пецка	Дрина	Гуњаци	-
663.	22-06-2001	Љубовија	Дрина	Љубовија	-
664.	22-06-2001	Тамнава	Колубара	Коцељева	-
665.	22-06-2001	Колубара	Колубара	Ваљево	-
666.	22-06-2001	Јабланица	Колубара	Ваљево	-
667.	22-06-2001	Обница	Колубара	Ваљево	-
668.	22-06-2001	Скрапеж	Западна Морава	Пожега	-
669.	22-06-2001	Думача	Сава	Велика и Мала Врањска	-
670.	22-06-2001	Ресава	Велика Морава	Свилајнац	-
671.	22-06-2001	Раваница	Велика Морава	Добрићево	-
672.	01-06-2002	Вучјанска река	Јужна Морава	Вучје	-
673.	01-06-2002	Козарачка река	Јужна Морава	Грделица	-
674.	01-06-2002	Сејаничка река	Јужна Морава	Грделица	-
675.	11-06-2002	Трстена	Јужна Морава	Војска	-
676.	11-06-2002	Јужна Морава	Јужна Морава	Врање и околина	1
677.	11-06-2002	Млава	Млава	Петровац, Каменово, Трновче, Дубочка	-
678.	11-06-2002	Витовница	Млава	Рановац	-
679.	11-06-2002	Бобрешка река	Млава	Манастирица	-
680.	11-06-2002	Јовановачка река	Велика Морава	-	-
681.	11-06-2002	Белица	Велика Морава	Јагодина	-
682.	11-06-2002	Раваница	Велика Морава	Сење, Иванковац	-

683.	11-06-2002	Црница	Велика Морава	Параћин	-
684.	11-06-2002	Крупајска река	Млава	Крупаја	-
685.	11-06-2002	Брезничка река	Млава	Брезница	-
686.	11-06-2002	Бусур	Млава	Бусур, Табановац	-
687.	11-06-2002	Близначка река	Млава	Близнак	-
688.	11-06-2002	Пењевачка река	Велика Морава	-	-
689.	11-06-2002	Ресава	Велика Морава	Свилајнац, Деспотовац, Милива, Плажане	1
690.	11-06-2002	Купиновачка река	Јужна Морава	Јелашница	-
691.	14-10-2002	Бели Дрим	Бели Дрим	села дуж тока	-
692.	14-10-2002	Источка река	Бели Дрим	Исток	-
693.	14-10-2002	Пећка Бистрица	Бели Дрим	Пећ	-
694.	10-01-2003	Лужница	Јужна Морава	Бабушница	-
695.	10-01-2003	Биначка Морава	Јужна Морава	Лучане	-
696.	01-03-2004	Зли Дол	Јужна Морава	Пут	-
697.	01-03-2004	Дојкиначка река	Јужна Морава	Дојкинци, Брлог	-
698.	01-03-2004	Топлица	Јужна Морава	Доња Коњуша, Грабовница	-
699.	01-03-2004	Ибар	Западна Морава	Краљево	-
700.	01-03-2004	Рашка	Западна Морава	Нови Пазар, Постење, Козарево	-
701.	01-03-2004	Јошаница	Западна Морава	Сутеновац	-
702.	01-03-2004	Трнавица	Западна Морава	Трнава	-
703.	01-03-2004	Бањска река	Западна Морава	-	-
704.	01-03-2004	Људска река	Западна Морава	-	-
705.	01-03-2004	Блажевски поток	Западна Морава	Блажево	-
706.	29-07-2004	Ћондрића поток	Западна Морава	Узићи	-
707.	29-07-2004	Ристовића поток	Западна Морава	Узићи	-
708.	11-08-2004	Пештан	Колубара	околина Лазаревца	-
709.	11-08-2004	Колубара	Колубара	Ваљево	-
710.	11-08-2004	Црна река	Колубара	-	-
711.	11-08-2004	Љиг	Колубара	Љиг	-
712.	11-08-2004	Лукавица	Колубара	Ибарска магистрала	-

713.	26-02-2005	Караш	Дунав	Бела Црква	-
714.	26-02-2005	Нера	Дунав	Бела Црква	-
715.	27-02-2005	Витовница	Млава	Кула, Калиште, Мало Црниће, Аљудово	-
716.	27-02-2005	Бурдуљски поток	Велика Морава	Стрижа	-
717.	05-03-2005	Рогоз	Јужна Морава	Рогоз	-
718.	30-03-2005	Топчидерска река	Топчидерска река	Мајдан	-
719.	30-03-2005	Поток	Топчидерска река	Рипањ	-
720.	30-03-2005	Барајевски поток	Колубара	Барајево	-
721.	15-04-2005	Габровачка река	Јужна Морава	Габровац	-
722.	15-04-2005	Кутинска река	Јужна Морава	Насеље Никола Тесла	-
723.	15-04-2005	Ветерница	Јужна Морава	Лесковац	-
724.	15-04-2005	Крајковачка река	Јужна Морава	Мерошина	-
725.	15-04-2005	Хумска река	Јужна Морава	Хум	-
726.	15-04-2005	Рујничка река	Јужна Морава	Рујник	-
727.	08-05-2005	Копашничка река	Јужна Морава	Мала Копашница	-
728.	08-05-2005	Купиновачка река	Јужна Морава	Јелашница	-
729.	08-05-2005	Турија	Јужна Морава	Лоћика, Врћеновица, Дашница	-
730.	08-05-2005	Река	Јужна Морава	Велика Габровница, Велико Трњане	-
731.	08-05-2005	Ветерница	Јужна Морава	Лесковац	-
732.	08-05-2005	Вучјанска река	Јужна Морава	Вучје, Жабљане	-
733.	08-05-2005	Слатинска река	Јужна Морава	Слатина	-
734.	08-05-2005	Јабланица	Јужна Морава	Лебане	-
735.	08-05-2005	Бистрица	Западна Морава	Модрица	-
736.	08-05-2005	Пепељуша	Западна Морава	Кошеви	-
737.	08-05-2005	Велика река	Западна Морава	Велики Шиљеговац	-
738.	08-05-2005	Рибарска река	Западна Морава	Велики Шиљеговац	-
739.	08-05-2005	Нишава	Јужна Морава	Крупац	-
740.	18-06-2005	Јадар	Дрина	Осечина, Плужац, Комирић	-
741.	18-06-2005	Сирдијска река	Дрина	Сирдија	-
742.	18-06-2005	Вишка река	Дрина	Драгијевица	-

743.	18-06-2005	Раковица	Дрина	Белотић	-
744.	18-06-2005	Мађерска река	Западна Морава	-	-
745.	18-06-2005	Добрињска река	Западна Морава	Честобродица	-
746.	18-06-2005	Остружањска река	Дрина	Остружањ	-
747.	18-06-2005	Чемерница	Западна Морава	Прелина	-
748.	18-06-2005	Слатинска река	Западна Морава	Слатина	-
749.	18-06-2005	Карача	Западна Морава	Балуга	-
750.	18-06-2005	Мршничка река	Западна Морава	Мршинци	-
751.	18-06-2005	Липничка река	Западна Морава	Кукићи	-
752.	18-06-2005	Јежевачка река	Западна Морава	Јежевица, Заблаће, Вапа	-
753.	18-06-2005	Безимени буј. вод.	Западна Морава	Лугови	-
754.	18-06-2005	Безимени буј. вод.	Западна Морава	Пријевор	-
755.	18-06-2005	Безимени буј. вод.	Западна Морава	Трбушани	-
756.	18-06-2005	Безимени буј. вод.	Западна Морава	Љубић	-
757.	11-07-2005	Топлица	Јужна Морава	-	-
758.	20-08-2005	Клокочевачки п.	Дунав	Клокочевац	-
759.	20-08-2005	Црнајка	Дунав	Црнајка	-
760.	13-03-2006	Колубара	Колубара	Лисо Поље	-
761.	13-03-2006	Бељаница	Колубара	Конатице	-
762.	13-03-2006	Марица	Колубара	Дражевац	-
763.	13-03-2006	Пештан	Колубара	Пољане	-
764.	13-03-2006	Лепеница	Велика Морава	Крагујевац	-
765.	13-03-2006	Гружа	Западна Морава	Губеревац	-
766.	13-03-2006	Уб	Колубара	Уб	-
767.	13-03-2006	Река	Колубара	Таково	-
768.	13-03-2006	Јадар	Дрина	Брадићи	-
769.	13-03-2006	Грачица	Колубара	-	-
770.	13-03-2006	Тамнава	Колубара	Уб	-
771.	26-03-2006	Белица	Западна Морава	Лучани	-
772.	26-03-2006	Скрапеж	Западна Морава	Пожега	-
773.	26-03-2006	Ћетиња	Западна Морава	околина Ужица	-
774.	26-03-2006	Рибница	Западна Морава	Краљево	-
775.	26-03-2006	Краваричка река	Западна Морава	Прилипац	-

776. 26-03-2006	Моравица	Западна Морава	Пилатовићи	-
777. 26-03-2006	Гугаљски поток	Западна Морава	Гугаљ	-
778. 26-03-2006	Суводол	Западна Морава	Јелен До	-
779. 26-03-2006	Николића поток	Западна Морава	Пријановићи	-
780. 12-06-2007	Љубостиња	Колубара	Ваљево	-
781. 09-08-2007	Дојкиначка река	Јужна Морава	Дојкинци, Брлог	-
782. 26-11-2007	Јужница	Јужна Морава	Бабушница, Љуберађа, Доњи Стрижевац	-
783. 26-11-2007	Височица	Јужна Морава	Паклештица, Рсовци	-
784. 26-11-2007	Пуста река	Јужна Морава	Завидинце	-
785. 26-11-2007	Безимени буј. вод.	Јужна Морава	Драгинац	-
786. 26-11-2007	Коритничка река	Јужна Морава	Бела Паланка	-
787. 26-11-2007	Пуста река	Јужна Морава	Бојник	-
788. 26-11-2007	Ветерница	Јужна Морава	Лесковац	-
789. 26-11-2007	Косаница	Јужна Морава	Куршумлија	-
790. 26-11-2007	Дулина	Јужна Морава	Велико Трњане	-
791. 26-11-2007	Власина	Јужна Морава	Власотинце	-
792. 26-11-2007	Расничка река	Јужна Морава	Расница	-
793. 26-11-2007	Косаница	Јужна Морава	Кастрат	-
794. 26-11-2007	Нишава	Јужна Морава	Долац, Црвена река	-
795. 04-12-2007	Орашачка река	Јужна Морава	Пут	-
796. 04-12-2007	Ветерница	Јужна Морава	Лесковац	-
797. 08-03-2009	Лешница	Дрина	Јадранска Лешница	-
798. 08-03-2009	Јазина	Дрина	Јадранска Лешница	-
799. 08-03-2009	Коренита	Дрина	-	-
800. 08-03-2009	Млава	Млава	Петровац и околина	-
801. 08-03-2009	Тамнава	Колубара	Коцељева	-
802. 08-03-2009	Ресава	Велика Морава	Седларе, Суботица, Луковица, Грабовац	-
803. 30-06-2009	Љубостиња	Колубара	Ваљево	-
804. 08-11-2009	Ђетиња	Западна Морава	Ужице	-
805. 08-11-2009	Јабланица	Дрина	Сјеница	1
806. 08-11-2009	Вапа	Дрина	Сјеница	-

807. 08-11-2009	Грабовица	Дрина	Сјеница	-
808. 08-11-2009	Људска река	Западна Морава	Нови Пазар	-
809. 08-11-2009	Јошаница	Западна Морава	Нови Пазар	-
810. 08-11-2009	Млава	Млава	Петровац и околина	-
811. 08-11-2009	Пек	Пек	Клење, Раброво	-
812. 08-11-2009	Јадар	Дрина	Брадићи, Драгинац	-
813. 08-11-2009	Рзав	Западна Морава	Ариље	-
814. 08-11-2009	Лим	Дрина	Прибој, Пријепоље	-
815. 08-11-2009	Злошница	Дрина	Нова Варош	-
816. 08-11-2009	Кратовска река	Дрина	Кратово	-
817. 08-11-2009	Милешевка	Дрина	Пријепоље	-
818. 21-02-2010	Црни Тимок	Тимок	Зајечар	-
819. 21-02-2010	Сврљишки Тимок	Тимок	Сврљиг	-
820. 21-02-2010	Уб	Колубара	Уб	-
821. 21-02-2010	Грачица	Колубара	Совљак, Уб	-
822. 21-02-2010	Тамнава	Колубара	Бргуле, Лисо Поље	-
823. 21-02-2010	Бели Тимок	Тимок	Зајечар	-
824. 20-04-2010	Белица	Велика Морава	Јагодина	-
825. 20-04-2010	Цветачки поток	Западна Морава	Обрва	-
826. 20-04-2010	Лађевачка река	Западна Морава	Обрва	-
827. 20-04-2010	Ибар	Западна Морава	Краљево, Жичко поље, Рашка	-
828. 23-06-2010	Обница	Колубара	Ваљево	-
829. 23-06-2010	Јабланица	Колубара	Ваљево	-
830. 23-06-2010	Колубара	Колубара	Ваљево	-
831. 23-06-2010	Градац	Колубара	Ваљево	-
832. 02-07-2010	Тамнава	Колубара	околина Уба	-
833. 15-05-2010	Козједолска река	Пчиња	Трговиште	2
834. 15-05-2010	Лесничка река	Пчиња	Трговиште	-
835. 15-05-2010	Трипушница	Пчиња	Трговиште	-
836. 15-05-2010	Пчиња	Пчиња	Манастир Прохор Пч.	-
837. 23-05-2011	Трнавица	Западна Морава	Нови Пазар	-
838. 23-05-2011	Јошаница	Западна Морава	Нови Пазар	-
839. 23-05-2011	Лечанска река	Западна Морава	Нови Пазар	-



840.	21-05-2012	Кутинска река	Јужна Морава	Гаџин Хан	-
841.	26-02-2013	Биначка Морава	Јужна Морава	Бујановац	-
842.	26-02-2013	Пчиња	Пчиња	Трговиште	-
843.	26-02-2013	Трипушница	Пчиња	Трговиште	-
844.	26-02-2013	Црни Тимок	Тимок	Злот	-
845.	26-02-2013	Преш. Моравица	Јужна Морава	Левосоје, Осларе	-
846.	11-06-2013	Црница	Велика Морава	Забрега код Параћина	-
847.	09-07-2013	Придворичка река	Западна Морава	Придворица	-
848.	09-07-2013	Јездинска река	Западна Морава	Јездина	-

## БИОГРАФИЈА АУТОРА

*Ана Петровић (рођ. Борисављевић) рођена је 12.08.1983. године у Ивањици где је завршила основну школу и Гимназију. Године 2002. уписује Географски факултет Универзитета у Београду, а дипломира са највишом просечном оценом (9.55) и прва у генерацији 2007. године на смеру Географија одбраном дипломског рада са оценом 10 и стиче звање дипломирани географ. Награда за најбоље студенте у Србији у оквиру програма Еуробанке "Инвестирамо у европске вредности" додељена јој је 2006. године. Мастер студије на Географском факултету, смер Геопросторне основе животне средине уписује 2007. године, а наредне брани мастер рад на тему „Стање и проблеми у управљању опасним отпадом у Србији“ са оценом 10 и просечном оценом положених испита 9.75.*

*Исте године уписује Докторске студије на Универзитету у Београду, Шумарском факултету, Одсеку за Еколошки инжењеринг у заштити земљишних и водних ресурса (просечна оцена положених испита је 10). Новембра 2009. године гостовала је као истраживач и стипендиста Coimbra Group на Универзитету "Alexandru Ioan Cuza" у Јашију. Године 2010. добија стипендију Немачке фондације за животну средину (DBU) за десетомесечни истраживачки боравак у WWF Институту за екологију плавних зона у Рајштату и Саксонској фондацији за заштиту природе и животне средине у Дрездену. Јун 2013. године проводи на БОКУ Универзитету као гостујући истраживач и OAD стипендиста.*

*Од 1. феб. 2011. до 30. нов. 2013. године била је запослена на Шумарском факултету као истраживач приправник, а потом истраживач сарадник. Учествовала је у настави предмета Ризици природних непогода. Од 1. дец. 2013. године запослена је као истраживач сарадник на Географском институту „Јован Цвијић“ САНУ. Од 2009. године учествовала је више научно-истраживачких пројеката Министарства за просвету и науку.*

*Од јануара 2013. године је координатор за програм стипендија Немачке фондације за животну средину у Србији. Учествује на интернационалним и*

*националним скуповима и конференцијама, била је члан Организационог одбора конференције LANDCON 2012 и предавач на две иностране летње школе. Члан је Српског географског друштва и Светске организације за конзервацију земљишта и вода. Објавила је 18 стручних и научних радова као аутор и коаутор. Служи се енглеским, немачким, шпанским и руским језиком.*

## Прилог 1.

### 1. Изјава о ауторству

Потписана: мср Ана М. Петровић

број уписа: школска година 2008./2009.

#### Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

#### Фактори настанка бујичних поплава у Србији

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, 21.07.2014.

Ана Петровић

## Прилог 2.

### 2. Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора: мср Ана М. Петровић

Број уписа: школска година 2008./2009.

Студијски програм:

Еколошки инжењеринг у заштити земљишних и водних ресурса

Наслов рада: „**Фактори настанка бујичних поплава у Србији**“

Ментор: др Станимир Костадинов, редовни професор Универзитета у Београду – Шумарског факултета

Потписана: мср Ана М. Петровић

изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанда

У Београду, 21.07.2014

Ана Петровић

### Прилог 3.

#### 3. Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

#### „Фактори настанка бујичних поплава у Србији“

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предала сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучила.

1. Ауторство
2. Ауторство – некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда

У Београду, 21.07.2014.

Ана Тешовић

1. **Ауторство** - Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. **Ауторство - некомерцијално – без прераде.** Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. **Ауторство - некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. **Ауторство – без прераде.** Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. **Ауторство - делити под истим условима.** Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.